

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Ideový návrh přestavby tramvaje T3 na nákladní tramvaj**

**Conceptual Desing of T3 Tram Conversion to Cargo Tram**

Student:

Jakub Hrdina

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Hrdina**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2301R003 Dopravní technika a technologie**  
Téma: **Ideový návrh přestavby tramvaje T3 na nákladní tramvaj**  
**Conceptual Design of T3 Tram Conversion to Cargo Tram**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza legislativních požadavků na vozidlo pro tramvajové dráhy
2. Analýza provozních vlastností a technického řešení tramvaje typu T3
3. Návrh uspořádání přestavby pro varianty:
  - řídící nákladní motorový vůz;
  - nákladní motorový vůz;
  - nákladní vlečný vůz.
4. Provozně technické hodnocení návrhu přestavby.

Součástí práce jsou typové výkresy navrhovaných variant přestavby.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELLER P., DOSTÁL J.: Kolejová vozidla III. Plzeň: ZUČ v Plzni. 2012.  
HABARDA D., GREŇČÍK J.: Pojazdy mestských koľajových vozidiel. Žilina: EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity. 2005.  
Zákon 266 1994 Sb. v aktualizovaném znění  
ČSN 28 0337 Obrysy pro tramvajová vozidla. 1994.  
ČSN 28 1300 Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky. 1998.  
Podklady výrobce a provozovatele

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaromírem Širokým, Ph.D. a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16.5.2014 .....



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že se na moji bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola Baňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vlastní potřebě práci užít (§ 35 odst. 3.).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO, k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

16. 5. 2014



podpis

## ANOTACE

HRDINA, J.: *Ideový návrh přestavby tramvaje T3 na nákladní tramvaj*, bakalářská práce, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 58 s. Vedoucí práce: Široký, J.

Cílem bakalářské práce je navrhnout tramvajové vozy Tatra T3 pro nákladní dopravu. Využití by bylo přínosné pro velká města, v nichž jsou průmyslové zóny a velké zatížení silniční dopravou. V první části bakalářské práce se zabývám legislativními požadavky a omezeními. Další část je věnována podrobnému popisu tramvajových kolejových vozidel z hlediska provozních a technických vlastností. V poslední části nabízím samotné zaměření na rekonstrukci vozu T3 a jeho využití v provozu.

## ANNOTATION

HRDINA, J.: *Conceptual Desing of T3 Tram Conversion to Cargo Tram*, Bachelor Thesis, Ostrava: VŠB – Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2014, 58 s. Thesis head: Široký, J.

The objective of this bachelor project is to redesign Tatra T3 tramcars for cargo transport. Cargo tramcars would be extremely beneficial for large cities with industrial zones and/or high levels of traffic. For this project, I will first be dealing with the legislative requirements and restrictions. I will then provide a detailed description of the tramcars' properties from both an operational and technical point of view. Finally, I will focus on the structural conversion of T3 tramcars for use in cargo transport, as well as the practicalities surrounding their implementation.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Legislativní požadavky na tramvajová vozidla .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Provozní vlastnosti a charakteristika tramvaje T3.....</b>	<b>20</b>
3.1 Provozní vlastnosti .....	20
3.2 Tramvajová vozidla .....	23
3.3 Nákladní tramvajová vozidla .....	29
3.4 Charakteristika tramvaje T3 .....	30
<b>4 Návrh uspořádání přestavby .....</b>	<b>34</b>
4.1 Varianty přestavby .....	36
4.2 Stanovení trakčního výkonu hnacího vozidla .....	37
4.3 Návrh přestavby .....	45
<b>5 Zhodnocení a porovnání variant přestavby .....</b>	<b>51</b>
5.1 Porovnání nákladní tramvaje s jízdní soupravou .....	51
5.2 Bezpečnost přepravy .....	52
5.3 Normativ hmotnosti .....	53
<b>6 Závěr .....</b>	<b>54</b>
<b>7 Seznam použité literatury .....</b>	<b>57</b>
<b>8 Seznam obrázků .....</b>	<b>60</b>
<b>9 Seznam tabulek a příloh.....</b>	<b>61</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A	AMPÉR (JEDNOTKA ELEKTRICKÉHO PROUDU)
aj.	A JINÉ
a.s.	AKCIOVÁ SPOLEČNOST
č.	ČÍSLO
ČKD	ČESKOMORAVSKÁ KOLBEN DANĚK
Čs.	ČESKOSLOVENSKÉ
ČSN	ČESKÉ STÁTNÍ NORMY
dm <sup>3</sup>	DECIMETR KRYCHLOVÝ (JEDNOTKA OBJEMU)
kg	KILOGRAM (JEDNOTKA HMOTNOSTI)
km	KILOMETR (JEDNOTKA DÉLKY)
kN	KILONEWTON (JEDNOSTKA SÍLY)
km/h	KILOMETR ZA HODINU (JEDNOTKA RYCHLOSTI)
kV	KILOVOLT (JEDNOTKA NAPĚTÍ)
kW	KILOWATT (JEDNOTKA VÝKONU)
m	METR (JEDNOTKA DÉLKY)
mm	MILIMETR (JEDNOTKA DÉLKY)
m <sup>2</sup>	METR ČTVEREČNÍ (JEDNOTKA PLOCHY)
MHD	MĚSTSKÁ HROMADNÁ DOPRAVA
m/s <sup>2</sup>	METR ZA SEKUNDU (JEDNOTKA ZRYCHLENÍ)
N	NEWTON (JEDNOTKA SÍLY)
např.	NAPŘÍKLAD
obr.	OBRÁZEK
ot./min.	OTÁČKY ZA MINUTU
PCC	PRESIDENT'S CONFERENCE COMMITTEE CAR
t	TUNA (JEDNOTKA HMOTNOSTI)

tj.	TO JE
TK	TEMENA KOLEJNIC
typ T	TRAMVAJ TATRA T3
tzv.	TAKZVANÝ
USA	SPOJENÉ STÁTY AMERICKÉ
V	VOLT (JEDNOTKA NAPĚTÍ)
viz	ODKAZ NA JINOU STRÁNKU
viz.	TO ZNAMENÁ
vozy T3	TRAMVAJOVÉ VOZY TATRA T3
VŠB	VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
°C	STUPEŇ CELSIA (JEDNOTKA TEPLoty)



## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

$F$	tažná síla [N]
$B$	brzdná síla [N]
$O$	odpory vozidla [N]
$m$	hmotnost vozidla [kg]
$\rho$	součinitel rotujících hmot [-]
$dv/dt$	změna rychlosti v čase [ $m/s^2$ ]
$a$	odpor tření v ložiscích [-]
$b$	součinitel valivého tření [-]
$c$	součinitel odporu vzduchu [-]
$V$	rychlost vozidla [km/h]
$O_{vz}$	součinitel odporu vozidla [-]
$O_{vz}$	odpor vozidla [N]
$A_0$	zatížení jedné nápravy [t]
$n_p$	počet dvojkolí
$S_x$	čelní plocha vozidla [ $m^2$ ]
$G_v$	tíha vozidla [N]
$O_{sklonu}$	součinitel odporu sklonu [-]
$s$	sklon tratě [‰]
$O_{oblouku}$	součinitel odporu oblouku [-]
$R$	průměr oblouku [m]
$O_{tratě}$	odpor tratě [N]
$O_{oblouku}$	součinitel odporu oblouku [-]
$O_{sklonu}$	součinitel odporu sklonu [-]
$O_z$	odpor zrychlení [-]

$a$	zrychlení vozidla [ $\text{m/s}^2$ ]
$g$	tíhové zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]
$F_0$	tažná síla [N]
$P$	výkon vozidla [kW]
$F_a$	adhezní síla [N]
$\mu_a$	součinitel adheze [-]
$\varepsilon$	součinitel využití adheze [-]
$G_a$	adhezní tíha vozidla [N]

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou rekonstrukce tramvaje T3, která je určena pro osobní přepravu, tak aby mohla být použita na přepravu nákladu. Stanovil jsem si dva základní cíle. Hlavním cílem práce je vytvořit ideový návrh přestavby vozidla na nákladní přepravu. Dalším cílem je posoudit využitelnost těchto vozů v praxi. Bakalářská práce navazuje na diplomovou práci (Bc. Lucie Mičovská z roku 2013), která se zabývala dopravní obslužností nových kolejových úseků, osobní a nákladní dopravu do průmyslových zón.

Tramvaj je kolejové vozidlo pohybující se po koleji ve městech. Velkou úlohu zastává ve velkých městech, kde dochází k častým zácpám dopravy, tudíž je v tu chvíli tramvaj jediný dopravní prostředek, který je bez jakéhokoliv dopravního omezení. Mezi velké výhody tohoto vozidla patří šetrnost k životnímu prostředí, poměrně nízké provozní náklady, ale také velká intenzita provozu. Nevýhoda této dopravy je ve velkých nákladech spojených s výstavbou tramvajových tratí a také s hlučností této dopravy.

Bakalářská práce vychází z předpokladu budoucího vyřazení starých tramvajových vozů Tatra T3 a jejich nahrazením novými lépe uzpůsobenými vozy do provozu. Jelikož vozů typu T3, vlastní každý podnik více než dost, je další možné využití logickou úvahou. Tímto dalším úkolem by se pro tramvaje mohla stát přeprava nákladních zásilek. Vůz typu T3 se vyznačuje výbornými provozními vlastnostmi a také velice nadčasovým designem, což jsou faktory ovlivňující držení tohoto vozu dále v provozu. Tramvaje osobní dopravy jsou využívány hlavně v denním režimu, v noci už v méně častém intervalu. Tudíž by se noc dala využít jako směna pro nákladní tramvaje, které by mohly zásobovat nově vytvořené průmyslové zóny. Výhodou by byly nízké náklady na dopravu, kapacitně výhodné podmínky pro přepravu, ale také rychlost přepravy.

V práci se pokusím shrnout základní poznatky, na jejich základě se pak pokusím navrhnout přestavbu osobní tramvaje, tak aby byla uzpůsobena pro nákladní přepravu a posoudit využitelnost tohoto druhu nákladní přepravy.

## 2 Legislativní požadavky na tramvajová vozidla

Každé vozidlo, které je určeno k přepravě osob či nákladu, musí splňovat dané normy. Zejména pak kvůli bezpečnosti.

### ➤ **ČSN 28 1300 Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky**

Tato norma stanovuje podmínky pro projektování, konstrukci, výrobu a zkoušení drážních vozidel určených pro provoz na tramvajových drahách s trakční napětím 600 V nebo 750 V, pro hromadnou přepravu osob. [10]

#### • **Konstrukce a provedení**

Konstrukce a provedení musí umožňovat provoz vozidla v těchto podmínkách:

1. klima s teplotním rozmezím -25 °C až 40 °C;
2. nadmořská výška do 1200 m;
3. relativní vlhkost vzduchu v ročním průměru 80 %;
4. sjízdnost tramvajových tratí
5. průjezdný průřez podle ČSN 28 0318
6. geometrické uspořádání koleje podle ČSN 73 6412
7. statická síla mezi dvojkolím nebo dvojicí protilehlých volných kol a kolejnicí ve svislém směru nejvýše 110 kN
8. trolejové vedení podle ČSN 33 3516 dovolené úchytky napětí v trakčním vedení podle ČSN 34 1500

#### • **Vnější a vnitřní rozměry**

Největší šířka vozidla smí být 2,65 m, největší šířka (včetně sběračů v nejnižší poloze) 3,7 m, největší délka včetně spřáhel 18 m, největší délka u spřažené soupravy a u kloubového vozidla včetně spřáhel 40 m.

Vozidlo musí svou konstrukcí vyhovovat ČSN 28 0337.

Největší šířku vozidla smějí přesahovat sklopné části vnějších zpětných zrcátek a směrová světla. [10]

- **Odpružení vozidla**

Vozidlo musí být odpruženo dle ČSN 34 2885.

- **Pojezd**

Pojezd vozidla musí zajistit bezpečné a spolehlivé nesení a vedení vozidla, přenášení tažných a brzdících sil na skříň vozidla. Tyto vlastnosti musí být zajištěny při maximálním opotřebení dílů. [10]

- **Vypružení**

Skříň vozidla musí být svisle vypružena a vypružení musí umožňovat její příčné pohyby.

Systém vypružení musí zajistit bezpečný chod vozidla při nepřekročení dovolených konstrukčních mezí vozidla na tramvajové trati namáháním vyvolaným dynamickými účinky jedoucího vozidla. [10]

- **Dvojkolí a jeho mezní hodnoty**

Kola nebo obruče musí mít profil schváleného tvaru, který odpovídá požadovanému typu kolejového svršku. [10]

- **Spřáhla vozidel**

Spřáhla vozidel, musí být zajištěna proti samovolnému rozpojení, dále musí být dimenzována tak, aby vydržela tažné a tlačné síly, které se vyskytují v provozu.

Upevnění a délka spřáhel musí zajišťovat bezpečné a plynulé pojíždění vozidel po tramvajové trati, včetně oblouků. Pro bezpečnost ruční obsluhy spřáhel musí být zachována vzdálenost mezi vyčnívajícími částmi dvou spřažených vozidel nejméně 0,6 m do výše 2 m nad terénem kolejnice i při maximální stlačení vozidel.

Spřáhlo, které není ve funkci, musí být zajištěno proti samovolnému pohybu. [10]

- **Skříň vozidla**

Skříň vozidla musí přenášet bez trvalých deformací vodorovnou sílu o velikosti 150 kN působící v podélné ose vozidla v rovině spodku vozidla.

Vozidlo musí být opatřeno předním a zadním nárazníkem.

Skříň vozidla musí být opatřena protikorozní ochranou.

Na skříni musí být označena místa pro zvedání. [10]

- **Stanoviště řidiče**

Musí být konstruováno tak, aby byl umožněn pohodlný přístup řidiče a zajištěna bezpečnost při střetu s jiným vozidlem.

Uspořádání řidičova stanoviště musí zajistit řidiči předepsaný nerušený výhled v souladu s příslušnými předpisy pro silniční vozidla všemi potřebnými směry za všech provozních a povětrnostních podmínek. [10]

- **Brzdy**

Mechanická brzda musí zajistit bezpečné zabrzdění tramvajového vlaku při přetržení soupravy.

- **Sypače písku**

Sypače písku musí být ovladatelné automaticky i ručně řidičem.

Každá jímka sypače musí mít min. objem 17 dm<sup>3</sup>.

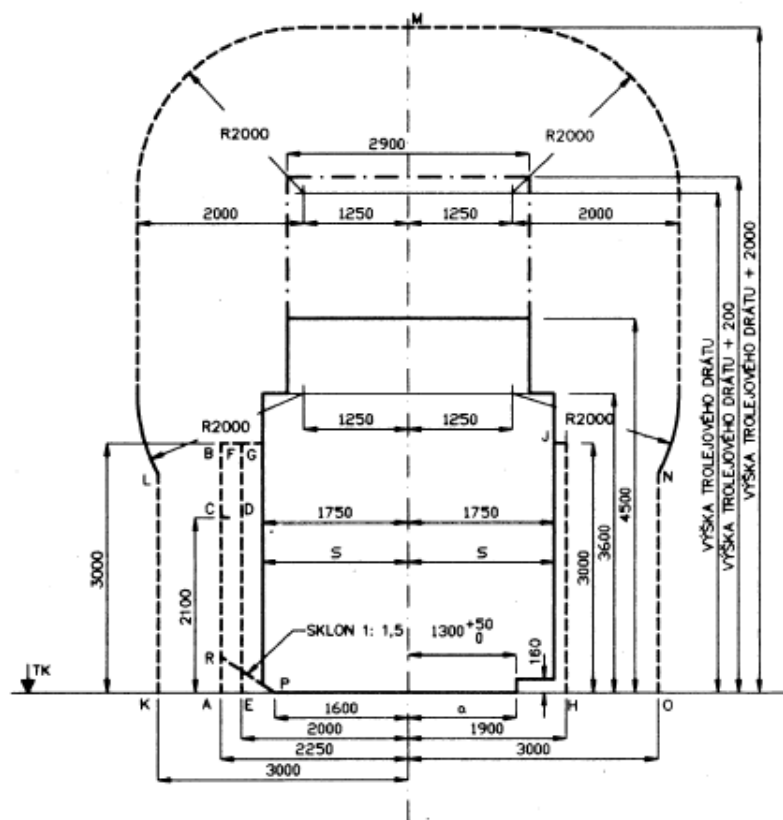
➤ **ČSN 28 0318 Průjezdny průřezy tramvajových vozidel**

Norma stanovuje průjezdné průřezy drah tramvajových tratí s horním příívodem proudu trolejových vedení a rozchodem koleje 1 435 mm nebo 1 000 mm. [11]

Do průjezdných průřezů nesmí zasahovat žádná část staveb a zařízení, ani jiné překážky. Výjimka je však povolena u zařízení, která při průjezdu vozidla mění svou polohu. [11]

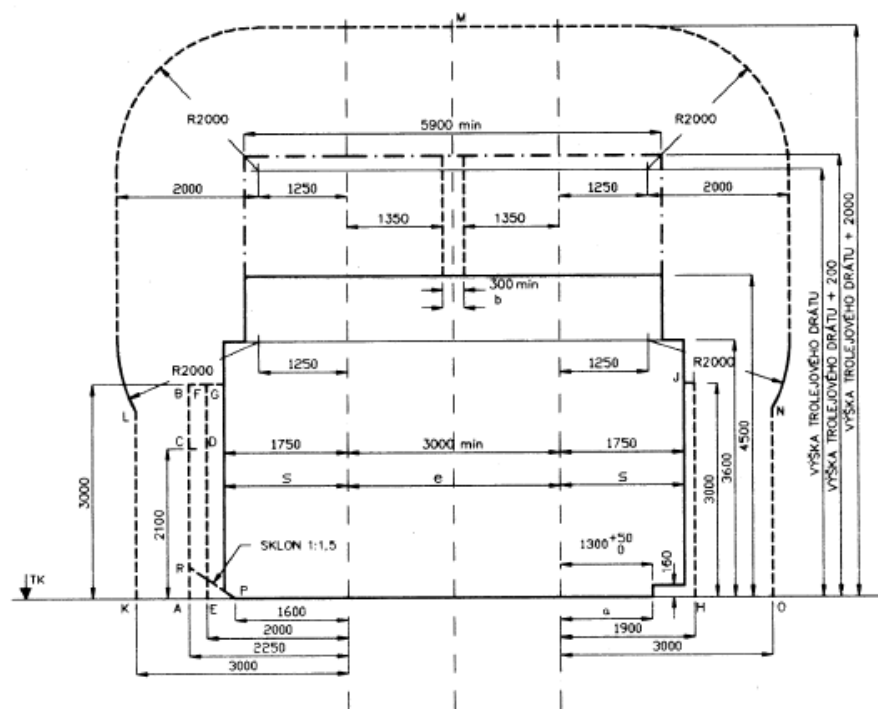
Tvary a rozměry:

1. průjezdný průřez pro jednokolejné trati (viz Obrázek 1.)
2. průjezdný průřez pro dvoukolejné trati (viz Obrázek 2.)



Obrázek 1. Průjezdový průřez jednokolejné trati [11]

- základní část průjezdového průřezu
- . — sběračová část průjezdového průřezu
- postranní volné prostory
- a vzdálenost hrany nástupiště od osy průjezdového průřezu
- s poloviční šířka průjezdového průřezu v přímé koleji



Obrázek 2. Průjezdny průřez dvoukolejné trati [11]

- základní část průjezdného průřezu
- · — sběračová část průjezdného průřezu
- - - postranní volné prostory
- a vzdálenost hrany nástupiště od osy průjezdného průřezu
- b minimální vzdálenost sběračů
- s poloviční šířka průjezdného průřezu v přímé koleji
- e vzdálenost os dvoukolejné trati
- TK úroveň temene koleje



### ➤ **ČSN 28 0337 Obrysy pro tramvajová vozidla**

Norma stanovuje rozměry obrysů tramvajových vozidel o rozchodu 1 435 mm a 1 000 mm, určené pro dráhy tramvajových tratí s horním přívodem proudu trolejového vedení. [11]

Obrysy pro tramvajová vozidla, obsažené v této normě, jsou konstruovány vzhledem k průjezdným průřezům.

Obrysy pro vozidla o rozchodech 1 435 mm a 1 000 mm se liší pouze ve spodním vymezení obrysů pro vozidla.

Největší šířka vozidla s výjimkou zpětných zrcátek a směrových světel nesmí překročit 2 650 mm.

Druhy obrysů:

1. obrysy pro vozidlo v přímé koleji
2. obrys pro vozidlo v oblouku
3. obrys pro vozidlo v přechodu z přímé koleje do oblouku koleje

### ➤ **ČSN 73 6412 Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí**

Norma stanovuje geometrickou polohu koleje, tj. rozchodu, výškové, směrové a sklonové uspořádání koleje tramvajových tratí a určuje přístupné odchylky od stanoveného rozchodu a výškové polohy koleje. [13]

#### • **Rozchod koleje**

Je to vzájemná vzdálenost pojezdných hran pravého a levého kolejnicového pásu koleje, měřená kolmo k ose koleje pod temenem kolejnice.

Normální rozchod koleje je 1 435 mm.

Rozšíření rozchodu lze navrhnout jen v obloucích s poloměrem 50 m nebo menší. Rozšíření nesmí být větší než 5 mm a má mít plnou hodnotu v celé délce oblouku. [13]

#### • **Kružnicové oblouky**

Tyto oblouky se navrhují s co největšími poloměry; jejich velikost musí odpovídat návrhové rychlosti trati nebo úseku trati a musí být přístupné odstředivému zrychlení.

Nejmenší poloměr kružnicových oblouků trati má být alespoň 50 m, pokud se jedná o trať provozovanou s cestujícími. Na křižovatkách, při rekonstrukcích nebo na tratích zřizovaných ve stávající zástavbě, kde nelze tyto hodnoty dosáhnout, smí být poloměr kružnicového oblouku nejméně 25 m, výjimečně 20 m. [13]

- **Převýšení oblouku**

Kvůli působení odstředivé síly v obloucích se zřizuje převýšení koleje, a to zvýšení polohy vnějšího kolejnicového pásu.

Převýšení lze navrhnout v hodnotách od 20 mm do 150 mm. Převýšení do 20 mm lze pouze zřídít s ohledem na výškové poměry vozovky.

- **Sklonové poměry**

Největší podélný sklon tramvajové trati lze navrhnout do 70 ‰. Větší podélný sklon, nejvýše však 90 ‰, je dovoleno ponechat u stávajících tratí.

Koleje v halách vozoven, kde se odtavují vozy a koleje a kde se provádí ošetřování vozů, se zřizují ve vodorovné poloze, nejvýše do sklonu 2,5 ‰.

- **ČSN 33 3516 Předpisy pro trakční vedení tramvajových drah**

Norma platí pro navrhování, výstavbu, údržbu a provoz trakčního vedení tramvajových drah se jmenovitým napětím do 1kV.

Části trakčního vedení tramvajových tratí musí být navrženy tak, aby nezasahovaly do průjezdných průřezů daných ČSN 28 0318.

Živé části trakčního vedení (tj. trolejový drát a holé vodiče) musí být vzdáleny od nosných konstrukcí trakčního vedení a od jiných pevných konstrukcí nejméně 100 mm. Uvedené hodnoty platí přímočaře ve vzduchu.

Venkovní vodiče, které jsou holé, s výjimkou trolejových vedení, musí být, v prostorech veřejně přístupných, vzdáleny od země ve všech směrech nejméně 5 m. V místech, která jsou veřejně nepřístupná, mohou být vzdálenosti zmenšeny až na 3 m.

Trakční vedení musí být vedeno tak, aby nebránilo obvyklému užívání komunikací a nebylo nebezpečné svému okolí. [14]

- **Trolejové vedení**

Slouží k přenosu elektrické energie od míst připojení napájecího vedení ke sběračům hnacích vozidel.

Trolejový drát musí být napínán samočinně. Drát se smí vychýlit z osy koleje pouze tak, aby nebyl narušen spolehlivý a plynulý odběr proudu. Toto ustanovení platí jak pro vychýlení trolejového drátu konstrukce vedení, tak i pro klikatost vedení.

Ve směrových obloucích s převýšením, se vychýlení trolejového drátu měří od roviny kolmé ke spojnici temen kolejnic. [14]

➤ **ČSN EN 50206-2 Drážní zařízení – Kolejová vozidla – Pantografové sběrače: Vlastnosti a zkoušky**

Napájení elektrického hnacího vozidla je dosahováno odběrem proudu z jednoho nebo více trolejových drátů, pomocí pantografových sběračů, které jsou umístěny na elektrickém hnacím vozidle. [15]

- **Ovládací zařízení**

Musí být vždy konstruováno tak, aby jakékoliv přerušení kontaktu pantografového sběrače s trolejovým drátem za běžných provozních podmínek nezapříčinilo trvalé poškození trolejového drátu nebo obložení lyžin a to u vozidla jedoucího maximální rychlostí, tak u vozidla stojícího. [15]

- **Údržba**

Životnost pantografového sběrače a ovládacího zařízení musí být 1,5 x 106 km nebo 30 let, podle toho, která okolnost nastane dříve. Tyto součásti však mohou obsahovat komponenty, které mají kratší dobu životnosti. Pokud není stanoveno jinak, musí být životnost těchto komponentů nejméně 0,25 x 106 km nebo 5 let, podle toho, která doba uplyne dříve. [15]

## 3 Provozní vlastnosti a charakteristika tramvaje T3

Tato kapitola je zaměřena na provozní vlastnosti kolejových vozidel zejména pak tramvajových vozidel. V první fázi s ohledem na rozbor kolejových vozidel a v druhé na konkrétní typ tramvaje T3.

### 3.1 Provozní vlastnosti

Tramvajová doprava je vzhledem k výstavbě mnoha úseků tratí a nákupu tramvajových vozidel velice nákladnou městskou hromadnou dopravou. Jelikož se však jedná o velice efektivní přepravu, z důvodu vysoké kapacity vozidel a rychlosti přepravy, je v mnohých městech nezbytná. Musí však být použita na trasách, na kterých se přepravuje velké množství lidí, aby byly pokryty všechny náklady. [1]

#### **Pohon dvojkolí**

Hnací vozidlo musí mít alespoň jedno dvojkolí hnací, z důvodu pohybu celého vozu. Dvojkolí má za úkol přenášet kroutící moment z elektrického motoru, mechanické nebo hydraulické převodovky na dvojkolí. Pohon vozidla je po celou dobu jeho životnosti nutné udržovat a opravovat, a z toho plyne podmínka na nízké náklady po celou dobu životnosti. [6]

Pohon:

- Individuální pohon dvojkolí
- Skupinový pohon dvojkolí

#### ➤ **Centrální pohon dvojkolí**

Od jalové hřídele jsou dále poháněna všechna dvojkolí, po obou stranách lokomotivy. Pohon je zajišťován pomocí kloubových hřídelí od převodovky. Všechna dvojkolí mají na čele kuželovou nápravovou převodovku a mezi nimi jsou kloubové hřídele. [1]

## ➤ **Individuální pohon dvojkolí**

V dnešní době se využívá pohon dvojkolí elektrickým trakčním motorem. Nejčastější trakční motory jsou v poslední době synchronní s permanentním magnetem. Použití pohonu je individuální a je ovlivněno kategorií vozidla. [1]

### - **Pohon souosým motorem**

Neboli přímý pohon je nejjednodušší ze všech pohonů dvojkolí trakčním motorem. Jeho specifikum je, že hnací moment se přenáší bez ozubeného převodu, otáčky motoru se rovnají otáčkám dvojkolí. Stator je obvykle umístěn na nápravě.

Na nápravě je umístěn rotor trakčního motoru. Stator je uložen na nápravě, musí být vázán s rámem podvozku nebo vozidla reakční tyčí. Největší nevýhoda tohoto pohonu je nevypružená hmota celého motoru.

### - **Pohon tlapovým motorem**

Používá se z důvodu několika jeho významných pozitivních vlastností, mezi které patří dobré výrobní náklady, jednoduchost, robustnost a s tím spojená spolehlivost v provozu. Nevýhodou tlapového motoru je nevypruženost hmot. Trakční motor je uložen na nápravě. Na jedné straně je umístěn v třecím ložisku, na druhé straně je motor uložen na příčnicku rámu podvozku, kde je uchycen na závěsce. Trakční motor a náprava vozu tvoří jeden celek.

### - **Pohon kloubovou hřídelí procházející dutinou trakčního motoru**

U těchto stejnosměrných trakčních motorů, kde je osa rovnoběžná s osou nápravy, nelze z prostorových důvodů vložit kloubovou hřídel mezi motor a převodovku.

Na rámu podvozku je pevně uchycen trakční motor s dutým rotorem, v němž se nachází kloubová hřídel. Ozubené kolo je nalisováno na nápravě. Kloub kloubové hřídele v dutině rotoru se konstruuje pohyblivě ve směru osy rotoru, aby umožnil našikmení kloubové hřídele při svislých pohybech motoru. Dále se zde nachází závěska mezi převodovkou a rámem podvozku.

#### **- Pohon kloubovou hřídelí procházející dutým pastorkem**

Používají se u vozidel s menším trakčním motorem. Lze ji aplikovat stejně jako v předchozím principu s tím rozdílem, že bude umístěna v dutině pastorku. Od trakčního motoru je vedena kloubová hřídel, která prochází dutým pastorkem. Pastorek je uložen v ložiscích v převodové skříni. Tato konstrukce je aplikována v současných pohonech vozidel MHD, kdy je použit trakční motor menších rozměrů.

#### **- Pohon elektrickým motorem s osou kolmou k nápravě**

Je určen zejména pro vozidla městské hromadné dopravy, zejména u vozidel s vysokou podlahou. Hlavními představiteli jsou tramvaje typu T (T1, T2, T3). Trakční motor je umístěn na motorovém příčnicku podvozku. Na motor navazuje kloubová hřídel, která pohání převodovku, a kotoučová brzda. U nízkopodlažních tramvají se vyžaduje zcela jiná koncepce z důvodu velkého podílu nízké podlahy. Z tohoto důvodu vznikl nový pohon dvojkolí trakčním motorem kolmým k ose nápravy.

#### **• Skupinový pohon dvojkolí**

Využívá se u vozidel nezávislé trakce, méně často se používá u vozů závislé trakce. Pohon dvojkolí zajišťuje jeden zdroj. Dvojkolí jsou spojena mechanickou vazbou, nejčastěji pomocí kloubového hřídele. Trakční motor je umístěn ve spod skříně, od něhož je kroutící moment přenášen pomocí kloubového hřídele, který pohání převodovku a s ní dvojkolí. Převodovka má jeden pár kuželového soukolí a druhý pár čelního soukolí. Celý tento celek se nazývá čelněkuželová převodovka. Od převodovky je dále poháněna další převodovka na druhém dvojkolí pomocí kloubového hřídele. Je nutné, aby nápravové převodovky byly doplněny o reakční rameno a závěsku, které mají za úkol zachycovat reakční moment převodovky a tím zabránit jejímu otáčení okolo nápravy. [1]

## 3.2 Tramvajová vozidla

Tramvajová vozidla jsou kolejová vozidla, která jsou určena pro pohyb ve městech a jsou součástí městské hromadné dopravy (MHD). Významným dopravním prostředkem jsou hlavně ve městech s vyšším počtem obyvatel, obzvláště nad 100 000 osob. Významnou úlohu zastávají v době, kdy jsou města přeplněna silničními vozidly, a kdy je tudíž проезд tramvajových vozidel daleko rychlejší. Hraje velkou roli i z ekologického hlediska – zlepšuje životní prostředí celého města. [3]

- **Tramvajová vozidla dvounápravová**

Tato kategorie vozidel byla na samotném začátku vývoje tramvajové dopravy a po dlouhou dobu zajišťovala dopravu. Dnes už však spadají do kategorie historických vozidel a jsou spíše exponáty. [1]

- **Tramvajová vozidla čtyřnápravová**

S rostoucími požadavky na vozy MHD byla vytvořena tramvajová vozidla čtyřnápravová. Požadavky na vozidla byly:

- rychlejší a pohodlnější výměna cestujících
- počet sedících a stojících v poměru 1:2 a větší
- lepší průjezdnost menšími oblouky
- větší dynamické parametry

Příkladem jsou tramvajová vozidla typu T (např. T3). Tyto tramvaje byly mimořádně vydařené, jelikož dosahovaly výborných jízdních vlastností, spolehlivosti a pohodlí. Avšak i tak výborný typ T, měl své nevýhody, mezi které patřily vysoká podlaha a také energeticky náročný provoz. [1]



Technické parametry:

Délka vozové skříně	14 000 mm
Šířka vozové skříně	2 500 mm
Výška vozové skříně	3 053 mm
Výška podlahy nad TK	894 mm
Hmotnost prázdného vozu	17 000 kg
Hmotnost obsazeného vozu	28 500 kg
Míst k sezení/stání (8os./m <sup>2</sup> )	24/138
Výkon motoru	4x40 kW
Maximální rychlost	65 km/h

Obrázek 3. *Technické parametry tramvaje T3* [16]

- **Tramvajová vozidla čtyřnápravová, částečně nízkopodlažní**

Vozidla tohoto typu vznikla rekonstrukcí tramvaje typu T3, jejímž cílem bylo vytvořit částečně nízkopodlažní vozidla.

Tramvaj Vario LF má skříň, jejíž délka byla prodloužena na 15 100 mm a její šířka zúžena na 2 480 mm. Nástupní prostor uprostřed vozu je nízkopodlažní s výškou 350 mm od TK. [1]



Technické parametry:

Délka vozové skříně	15 100 mm
Šířka vozové skříně	2 480 mm
Výška vozové skříně	3 053 mm
Výška podlahy nad TK	860/350 mm
Hmotnost prázdného vozu	21 200 kg
Hmotnost obsazeného vozu	28 500 kg
Míst k sezení/stání (8os./m <sup>2</sup> )	33/116
Výkon motoru	4x45 kW
Maximální rychlost	65 km/h
Podíl nízké podlahy	36%

Obrázek 4. *Technické parametry tramvaje Vario LF* [17]



- **Tramvajová vozidla kloubová, vysokopodlažní**

Přepravní kapacitu vozidla lze navýšit pomocí spřáhnutí dvou vozidel, přípojným vozem, kloubovým nebo článkovým tramvajovým vozem. Nelze opomenout to, že vozidla musí být schopna projíždět i malými oblouky o poloměru 18 m, které omezují délky článků. Řešení zvýšené kapacity pomocí spřáhování dvou vozů sice řešilo tento problém, avšak kabina pro řidiče v zadním voze zabírala prostor pro cestující. [1]

### **Podvozky tramvajových vozidel**

Jsou konstruovány a plní stejnou funkci jako podvozky hnacích železničních vozidel. Na rozdíl od vozidel železničních jsou však na ně kladeny daleko větší požadavky, vzhledem k průjezdům menších oblouků a výraznějším sklonovým parametrům až 80 ‰. Přitom výkony trakčních motorů obvykle nepřesáhnou 120 kW na nápravu. Je obecnou pravdou, že podvozky pro tramvajová vozidla jsou daleko menší než podvozky pro železniční vozidla. Rozvor podvozku bývá 1800 až 1900 mm. Průměr dvojkolí obvykle 700 mm. Nápravové zatížení bývá maximálně do 11 tun na nápravu. Kolej pro tramvajová vozidla se nachází na úrovni vozovky, z důvodu přejíždění automobilů přes tuto kolej. [1]

- **Podvozek ČKD Tatra (typy T)**

Tyto podvozky jsou standardní otočné, pro vysoko podlažní tramvajová vozidla. Před druhou světovou válkou byla v USA vyvinuta tramvaj typu PCC Car, v níž byl aplikován podvozek, který se později objevil i v Evropě. V Československu byl tento podvozek nazván jako ČKD TATRA a byl využíván ve všech vozech typu T. Největší výhodou má tento podvozek v jednoduché konstrukci s kloubovým rámem a podélně uloženými trakčními motory. Dále má velkou přednost v přizpůsobivosti podvozku k nerovnostem tratě. Na rozdíl od železničních vozů má tento tramvajový podvozek vnitřní rám. Rám je tvořen dvěma podélníky, skříňové konstrukce a dvěma příčníky, které nesou trakční motory. Podélníky jsou ukončeny v ocelolitinových hlavách, kde jsou převodové skříně na jedné straně, a na druhé jsou čepy, které zabraňují otáčení. Podélné součásti rámu jsou uzpůsobeny k vypružení, které tvoří soustava pryžové a

ocelové šroubovitě pružiny, doplněná o tlumiče. Vypružení nese kolébku a kulovou tornu pro otočný čep. Na podélnících jsou uloženy kolejnicové brzdy. Převodovka může být dvoustupňová s čelním a kuželovým soukolím, podle toho v jakém provozu se bude nacházet. Na trakčním motoru je uložena kotoučová třecí brzda, ovládaná pomocí brzdičů. Hmotnost celého podvozku je 3 700 kg, výkon trakčního motoru je 45 kW. [6]



Obrázek 5. Podvozek ČKD

- **Otočný podvozek Komfort pro standartní vysokopodlažní tramvajová vozidla**

Tento podvozek vznikl modernizací podvozku z tramvaje typu T a dostal název Komfort. Je možné jej použít pro stávající vozidla typu T a K. Tento podvozek zachovává původní koncepci dvojkolí a pohonu dvojkolí. Byl zde však přidán nový prvek a to primární vypružení mezi rámem podvozku a ložiskovou skříní. Změny dostal i podvozek vozidla, který je tvořen dvěma půl rámy, spojenými navzájem přes dva silentbloky. Na podvozku je možné využít původní stejnosměrný trakční motor nebo nový střídavý asynchronní motor. Velkou předností tohoto podvozku jsou dvoukolí o průměru 700 mm, což zajišťuje poměrně menší opotřebení kol než tramvajové podvozky s menšími koly. [1]

- **Otočný podvozek pro standardní vysokopodlažní tramvajová vozidla**

Nejnovějším typem podvozku pro vysokopodlažní vozidla je podvozek SIEMENS SF 90 TDG a LDG. Podvozek TDG je podvozek trakční, podvozek LDG je běžný. Podvozek má dva trakční motory s osami rovnoběžnými s osou dvojkolí a přenos momentu je uskutečněn pomocí dutého kloubového hřídele. Trakční motory jsou upevněny k rámu podvozku, společně s převodovkou. Podvozek je primárně vypružen pryžovými pružinami. Otevřený rám podvozku má tvar do H, má podélníky vytvarované pro uložení pryžových pružin. [1]

### **Skříň tramvajových vozidel**

Je hlavní nosná konstrukce vozidla, k níž patří vnitřní obložení, hluková a tepelná izolace a podlaha, vše nad systémem vypružení. Hlavní nosná část skříň tramvajového vozidla se nazývá hrubá stavba skříň. V současné době je hrubá stavba skříň ovlivněna normami, ekologickými požadavky a nízkou hmotností. Požadavek vozidel na podélné zatížení byl stanoven na 200 kN. [1]

- **Nosná struktura skříň**

Hrubá stavba, která bývá:

- ocelová diferenciální
- hliníková diferenciální

Pokud je skříň diferenciální, je skříň složena z:

- Spodek skříň vozidla – svařenec z ocelových profilů tvaru Z nebo U a uzavřených skříňových profilů. Kvůli stanovené podélné síle 200 kN, obsahuje skříň páteřový nosník, který má na přední částech desky pro upevnění spřáhel.
- Bočnice skříň – svařenec ložných sloupků, většinou z profilu Z nebo U.
- Střecha – svařenec složený z příčných, podélných výztuh a vaznic.
- Čelo skříň – v případě vnitřního čela je tvořeno oplechovaným svařencem, a z vnějšího pohledu je tvořen trubkovou konstrukcí a laminátovým krytem.

### ➤ **Nosná struktura skříně tramvaje T3**

Střecha u tramvaje typu T3 nemá podélné výztuhy. Bočnice jsou tvořeny sloupky z obdélníkového profilu. Spodek vozu je tvořen podélnou páteří a příčnicí, podélnými nosníky podlahy a podélníky. Nosná struktura je tvořena lehkou konstrukcí z důvodu nízké hmotnosti.

### **Interiéry tramvajových vozidel**

Je kladen velký důraz na funkčnost, nenáročnost, údržbu, odolnost a také na vzhled. Velmi důležitá je požární bezpečnost.

Interiér je tvořen:

- podlahou
- obložení a izolace bočnic a stropu
- dělící prvky a mezistěny
- sedadla a madla
- osvětlení a větrání
- prostor pro kočárky a tělesně hendikepované cestující. [1]

### **Spřáhla**

Spřáhlová ústrojí slouží ke svěšení tramvajových vozidel. Článeková vozidla se však vzhledem k přepravní kapacitě obvykle v provozu nespojují. Proto spřáhla slouží jen k odtažení vozidel v případě poruchy. U vozidel samostatných přenáší spřáhla tažné a brzdné síly. V každém případě musí přenášet tažné a brzdné síly. Ve všech vozidlech se jedná o centrální spřáhla, která rozdělujeme podle spojování: [6]

- ruční
- automatické

### ➤ **Spřáhla vozidel mechanická**

U vozidel tuzemských dopravců, která obvykle jezdí spřažená ve dvojicích, se používá spřáhlo ručně spojované s pryžovými spojovacími vložkami. Tato spřáhla, spojují vozidla pouze mechanicky, nelze je spojit elektricky. Spřáhla na čelním vozidle jsou trvale vystrčena z obrysu vozidla. Spřáhla mezi vozidly jsou naopak trvale spojena, ale musí umožňovat průjezd vozidel obloukem koleje. [6]

### ➤ Automatická spřáhla

Nejjednodušším příkladem automatického spřáhla je například typ určený pro jednotky metra SIEMENS. Spřáhlo je složeno ze základního tělesa, na němž je uložen otočný kloub a podpěra spřáhla. Uvnitř spřáhla je umístěn hydraulický tlumič podélných rázů. Některé typy automatických spřáhel umožňují spřahování nových i starých typů vozidel. [6]

### **Rozměry tramvajových vozidel**

Rozměry tramvajových vozidel jsou omezeny normami, z důvodu vyloučení vzájemné kolize vozidel na sousedních kolejích, stavbami v blízkosti koleje a pevnými zařízeními. Blízkost všech pevných zařízení a staveb u koleje je omezena průjezdným průřezem. Průjezdný průřez je obrazec v rovině kolmé k podélné ose koleje a souosým se svislou osou koleje. Podobně jako jsou omezeny rozměry ke koleji, jsou také omezeny rozměry tramvajových vozidel. Tomuto obrazci se říká obrys vozidla. [1]

### ➤ Průjezdné průřezy tramvajových vozidel

Pro průjezdné průřezy je stanovena norma ČSN 28 0318, a to pro rozchody koleje 1 435 mm a 1 000 mm (viz Legislativní požadavky na tramvajová vozidla).

### ➤ Obrysy pro tramvajová vozidla

Pro obrys tramvajů o rozchodu 1 435 mm a 1 000 mm je stanovena norma ČSN 28 0337 (viz Legislativní požadavky na tramvajová vozidla).

## **3.3 Nákladní tramvajová vozidla**

Nákladní tramvaj je kolejové vozidlo určené pro přepravu zboží nebo jiného nákladu.

Velký rozkvět nákladní tramvajové dopravy byl zaznamenán ve 20. století. V této době byly tramvaje využívány pro zásobování velkých podniků a pro rozvoz zboží po městech. Svou velkou roli sehrály za první světové války, kdy zajišťovaly zásobování a převoz raněných. Od 30. let 20. století však byly vystřídány nákladními automobily a od trendu nákladní tramvajové dopravy se upustilo.

V dnešní době je velmi známou nákladní tramvají tzv. CarGoTram. Je to speciální tramvajové vozidlo složené z několika článků, které zásobuje automobilku Volkswagen. Tramvaj je zde využívána hlavně z důvodu špatné přístupnosti pro nákladní automobily. V současné době jsou v provozu dvě tyto soupravy, které byly vyvinuty firmou Schalker Eisenhütte Maschinenfabrik GmbH Gelsenkirchen. Kromě Drážďan jsou tyto tramvaje využívány také v jiných městech jako např. Vídeň, Curych, ale také v Brně. Hlavní výhodou je jejich ekologičnost, nevýhodou však malá dostupnost, tedy řídká kolejová síť. [28]

### 3.4 Charakteristika tramvaje T3

Tento vůz je určen jen pro jednosměrný provoz. Při poruše vozu, smí být poškozený vůz odtažen pomocí jiného prázdného vozu, ale pouze za snížené rychlosti. V provozu je možno využít spřažení dvou vozů a to tak, že dojde k vytvoření vlakové soupravy.

Samostatný vůz je určen pro průjezd oblouku o minimálním poloměru osy koleje 15 m. Jestliže jsou dva vozy spřaženy do vlakové soupravy, jsou schopny projet minimálním obloukem 20 m poloměru os koleje. U protisměrných oblouků musí být minimální poloměr 30 m. [4]

Pro jízdu do stoupání platí, maximální stoupání do 80 ‰ pro převod 7,43.

Vozy musí vyhovovat geografickým podmínkám:

- výška nad mořem, minimálně do 1200 m
- množství sněhu, do 50 mm nad temenem kolejnic
- výška hladiny vody, do 10 mm nad temenem kolejnic

### Technické specifikace vozu T3

Hmotnost prázdného vozu	16 000 kg
Hmotnost při maximálním obsazení	27 500 kg
Normální obsazení vozu (sezení/stání)	111 (24/87) míst
Maximální obsazení vozu (sezení/stání)	163 (24/139) míst
Délka skříně	14 000 mm
Délka vozu přes spřáhla	15 104 mm
Šířka skříně	2 500 mm
Výška vozu pro průměr kol 700 mm	3 058 mm
Vzdálenost otočných čepů podvozku	6 400 mm
Rozvor podvozku	1 900 mm
Rozchod podvozku	1 435 mm
Průměr kol	700 mm
Převod	7,43
Maximální provozní rychlost	60 km/h
Maximální zrychlení	1,65 m/s <sup>2</sup>
Celkový trvalý výkon 4x40 kW	160 kW

#### • **Kostra spodku**

Je svařena z lisovaných a válcovaných nosníků. Skříňový nosník tvaru H, který prochází středem kostry, tvoří hlavní část spodku. Ve střední části spodku se nachází elektromotor, zrychlovač a skříně elektronických přístrojů vozu. Na dvou hlavních příčnicích jsou připraveny čepy pro podvozek. [4]

#### • **Podvozky**

Každý podvozek vozu je trakční dvounápravový s odpruženou kolébkou, kde je umístěn čep skříně. Rám podvozku je tvořen ze dvou půl rámů, které jsou pružně spojeny. Vypružení je řešeno pomocí ocelových vinutých pružin a pryžových prstenců. Pohonná jednotka je určena zvlášť pro každé dvojkolí, kdy se síla přenáší z trakčního motoru pomocí kardanové hřídele a převodovkou na nápravu. Každý podvozek je vybaven třemi druhy brzd pro plynulé brždění. Dvojkolí podvozku je opatřeno odpruženými koly o průměru 700 mm a šířce 95

mm. Obě kola jsou nalisována na nápravě. U nápravy se používají dvouřadá soudečková naklápěcí ložiska. [4]

- **Spřáhlo**

Spojování spřáhel se provádí ručně a je zajištěno dvěma čepy. Spřáhla jsou umístěna na obou koncích vozu a jsou vypružena. Ukotvena jsou na středním nosníku. [4]

- **Skříň**

Skříň je svařena ze šesti částí a to ze spodku, obou bočnic, střechy a laminátových čel. Společně tvoří tyto části jeden celek. Bočnice a střecha vozu jsou svařeny z ocelových lisovaných dílců. Čela vozu jsou v části spodku opatřena nárazníky. [4]

- **Brzdy**

U podvozků jsou aplikovány čelistové brzdy s elektromagnetickým ovládáním a kolejnicové elektromagnetické brzdy. Čelistová brzda je brzda adhezní, tudíž její funkce musí být vázána na pokles proudu brzy elektrodynamické. Tato činnost se uskutečňuje v závislosti na brzděném proudu. Vozidlo nejvíce používá elektrodynamickou brzdu. [6]

- **Trakční motory**

Každá náprava je poháněna vlastním trakčním motorem, který je chlazen pomocí měchů s chladným vzduchem. [4]

Tabulka 1. Technické specifikace trakčního motoru

Typ	TE 22
Trvalý výkon	40 kW
Napětí na kolektoru	300 V
Hodinový proud	160 A
Trvalý proud	150 A
Buzení	sériové



Otáčky, odpovídající trval. výkonu	1780 ot/min.
Maximální otáčky	4200 ot/min.
Hmotnost motoru	320 kg
Druh motoru	stejnosměrný



Obrázek 6. Trakční motor tramvaje T3

## 4 Návrh uspořádání přestavby

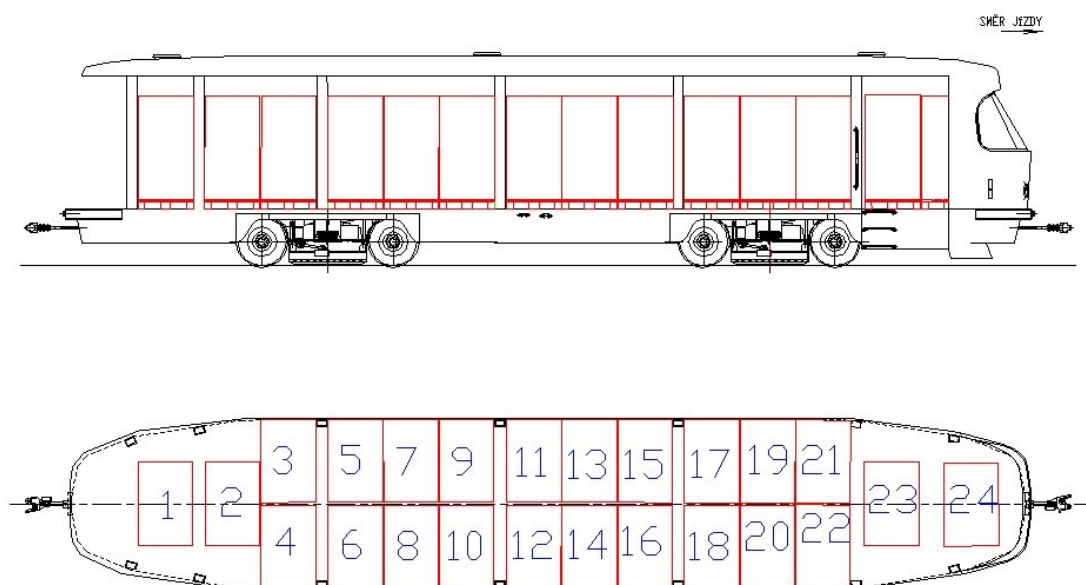
Nákladní tramvaje jsou již po mnoho let velice využívaným dopravním prostředkem hlavně v bývalých zemích Sovětského svazu. Jsou upravovány buď ke speciálním účelům, jako např. kolejový brus nebo sněhový pluh aj., nebo slouží jako nákladní vozidlo. Nákladní vozidla mohou být buď s nakládací plošinou otevřená, nebo uzavřená. Aplikace nákladních tramvají v moderních metropolích mohou být vhodné, pokud jsou v provozu na speciálních linkách. To umožňuje výrazně snížit zátěž na městských silnicích. V bývalých zemích Sovětského svazu se ve velké míře využívaly vozy T3 jako nákladní valníková vozidla. Jejich přestavba byla založena na odstranění střechy, bočnic a zadního čela. Do tohoto volného prostoru se usadila nakládací rampa, která byla usazena na základě poznatků ze strašších takto využívaných tramvajových vozů. Touto přestavbou prošla v první fázi čtyři vozidla, která byla rozdělena mezi dopravní podniky např. Charkov, Petrohrad. Avšak tyto vozy měly poněkud slabší konstrukci rámu, protože byly původně navrženy pro lehčí zatížení, které se používalo pro potřeby skladu a účasti na opravách. Některé tyto přestavby měly zachovánu i část kabiny tj. prostor s dvěma okny. Tento prostor byl určen pro dopravu pracovníků. Ve velkém počtu byly a jistě i jsou tyto vozy využívány v Petrohradě. Důvodem k vytvoření této platformy vozů je specifická topografie Petrohradu, který leží na ostrovech řeky Něvy, a kde je téměř nemožné vést železniční koleje. Téměř většina hlavních a mnoho středních podniků leží ve městě. Z těchto důvodů byla vytvořena síť nákladních tramvají, které zásobují město a průmyslová centra v nich. Tyto přestavěné tramvaje vozí široký sortiment zboží, od oceli až po zboží určené pro maloobchodní prodeje. Ovšem záznamy uvádějí, že nákladní tramvajové vozy nejsou využívány pouze ve městech. Nejen země bývalého Sovětského svazu však využívaly tuto přepravu. V Americe je pomocí tramvajové sítě řešeno zásobování z přístavních skladů.

Významnou výhodou této přepravy je vysoká kapacita elektrických nákladních tramvají a levný transport zboží v porovnání s jinými druhy přepravy.

Pro návrh přestavby nákladního tramvajového vozidla jsem navrhl tři varianty. Všechny tyto varianty jsou přestavěny pro nakládku a vykládku

nákladu. Došlo zde k několika úpravám původního stavu tramvají. Tyto změny jsou popsány v dalších kapitolách.

Vzhledem k návaznosti na diplomovou práci, která se zabývala vytvořením průmyslových zón v Ostravě, byla jako přepravní jednotka vybrána europaleta. Kvůli její univerzálnosti a přepravě širokého sortimentu zboží je toto řešení neoptimálnější. Dojde k několika změnám na tramvajovém vozidle s ohledem na velikost palety, tak aby byla snadná nakládka a vykládka. Také z důvodu kapacitního využití plochy pro náklad. Nakládku na tramvaje budou provádět vysokozdvizné vozíky, které budou mít dostupnost z obou stran tramvaje. Zvětšena bude také výška bočních sloupků, aby byla možná nakládka i vyšších rozměrů nákladu. Naopak zmenšeny budou žebra nesoucí střechu. Výška skříně vozu se nepatrně zvýší.



*Obrázek 7. Využití kapacity vlečného vozu*

Tramvajovou soupravu budou tvořit dvě spřažená vozidla tak, aby byla dodržena norma ČSN 28 1300, která stanovuje maximální délku soupravy na 40 metrů. V čele soupravy bude vůz uzpůsobený k vedení celé soupravy se stanovištěm pro řidiče. Za ním pak bude, buď varianta s motorovým vozem uzpůsobeným k nakládce, nebo pouze vlečný vůz.

## 4.1 Varianty přestavby

Pro přestavbu tramvajových vozidel jsem navrhl tři varianty:

- **Nákladní motorový vůz se stanovištěm pro řidiče**

Hnací vůz přizpůsoben pro přepravu nákladu, avšak ne v plném rozsahu z důvodu začlenění stanoviště pro řidiče. Vozidlo bude mozkiem celé soupravy, bude mít za úkol vést a řídit celou soupravu. Tento vůz bude řídící vůz, který bude mít veškerá zařízení nutná k vyvíjení hnací síly, proto bude nejtěžší ze všech variant. Pohon tohoto vozu bude zajištěn čtyřmi motory, které pohánějí každé dvojkolí. Kvůli začlenění motorového vozu bez stanoviště pro řidiče, který bude mít vlastní zdroj pohonu a vlečného vozu, který naopak nebude mít vlastní zdroj pohonu, budou pro vozy tohoto typu uzpůsobeny dvě varianty se silnějším motorem při spřažení vlečného vozu a slabším motorem při variantě s motorovým vozem bez stanoviště pro řidiče. Tento vůz bude mít předělán celý rám (viz podkapitola 4.3), bočnice vozu budou odstraněny. Obě čela zůstanou zachována, kvůli aerodynamice a krytí vozu. Střecha čel vozu bude změněna tak, aby navazovala na střechu skříně. Bočnice budou nahrazeny plachtou, která bude kryt otevřené části vozu. Střecha vozu bude změněna kvůli změně žeber, které budou sníženy. Zvýšeny budou naopak nosné sloupky, které nesou střechu. Tato změna je kvůli zlepšení dostupnosti nakládky. Výška skříně je tímto krokem nepatrně zvýšena.

*Tabulka 2. Specifikace varianty: Nákladní motorový vůz se stanovištěm pro řidiče*

Výkon silnější varianty motoru	150 kW
Výkon slabšího motoru	68 kW
Kapacita vozu	22 europalet

- **Nákladní motorový vůz bez stanoviště pro řidiče**

Vozidlo, které bude mít vlastní zdroj pohonu. Tramvajový vůz bude plně kapacitě využit, na rozdíl od předchozí varianty zde nebude umístěno stanoviště pro řidiče, které bude odstraněno. Rám bude zpevněn (viz podkapitola 4.3)

stejně jako v předchozí variantě. Bočnice budou odstraněny. Čela vozu zůstanou zachována tak jako u vozu se stanovištěm pro řidiče, se změnou výšky žeber a sloupků. Krytí otevřených částí vozu je zajištěno pomocí plachty.

*Tabulka 3. Specifikace varianty: Nákladní motorový vůz bez stanoviště pro řidiče*

Výkon motoru	68 kW
Kapacita vozu	24 europalet

- **Nákladní vlečný vůz**

Vozidlo přestavěné pouze k přepravě nákladu na europaletách. Nebude mít vlastní zdroj pohonu, proto bude odstraněn sběrač a všechna zařízení, která napomáhají vyvíjet tažnou sílu. Těmito kroky se vůz odlehčí.

Tato varianta bude mít pouze přední čelo z aerodynamických důvodů tj. průraznosti vzduchu. Zadní čelo bude odstraněno z důvodu využití zadní části vozu (špatná dostupnost do zadní části). Krytí otevřených ploch je zajištěno pomocí plachty, která bude upevněna pevně k vozu, tak aby byla pohodlná manipulace.

*Tabulka 4. Specifikace varianty: Vlečný vůz*

Kapacita vozu	24 europalet
---------------	--------------

## 4.2 Stanovení trakčního výkonu hnacího vozidla

Výpočet elektrického pohonu drážních vozidel, v našem případě tramvaje T3. Předností elektrické trakce je schopnost neznečišťovat okolí. Dále také vyšší energetická účinnost, s čímž jsou spojeny nižší provozní náklady.

- **Teoretický rozbor trakce**

Cílem je výpočet tažné síly kolejového vozidla a následné stanovení výkonu potřebného k přímočarému pohybu tramvaje. Při pohybu vozidla vznikají síly, které působí proti pohybu, a proto je nutné stanovení těchto sil pro výpočet

tažné síly vozidla, která bude tyto síly překonávat. Silám působícím proti pohybu vozidla říkáme vozidlové odpory.

### - Základní rovnice pohybu vozidla

Je to základní mechanická rovnice, která znázorňuje síly působící na jízdu vlaku. [5]

Má tvar:

$$F - B - O = m * (1 + \rho) * \frac{dv}{dt} \quad (4.1)$$

Kde:	F	tažná síla [N]
	B	brzdná síla [N]
	O	odpory vozidla [N]
	m	hmotnost vozidla [kg]
	$\rho$	součinitel rotujících hmot [-]
	dv/dt	změna rychlosti v čase [m/s <sup>2</sup> ]

### - Vozidlový odpor

Závisí na konstrukčním provedení vozu. Tento odpor zahrnuje několik dalších odporů, které působí pro pohybu kolejového vozidla. Jsou zde zahrnuty odpory, jež působí při styku vozidla s kolejí (odpor ložiska, odpor valení) a venkovní odpory (odpor vzduchu). [2]

$$o_{vz} = a + b * V + c * V^2 \quad (4.2)$$

Kde:	a	odpor tření v ložiscích [-]
	b	součinitel valivého tření [-]
	c	součinitel odporu vzduchu [-]
	V	rychlost vozidla [km/h]

Pro výpočet vozidlového odporu tramvajového vozidla T3, byl stanoven vztah, jenž udává: [7]

$$o_{vz} = 3,65 * \frac{14,5}{A_0 * n_p} + 0,045 * V + \frac{44 * S_x * V^2}{A_0 * n_p} * 10^{-4} \quad (4.3)$$

$$O_{vz} = G_v * o_{vz} \quad (4.4)$$

Kde:	$O_{vz}$	součinitel odporu vozidla [-]
	$O_{vz}$	odpor vozidla [N]
	$A_0$	zatížení jedné nápravy [t]
	$n_p$	počet dvojkolí
	$V$	rychlost vozidla [km/h]
	$S_x$	čelní plocha vozidla [m <sup>2</sup> ]
	$G_v$	tíha vozidla [N]

### - Traťové odpory

Tento odpor vzniká při jízdě vlaku a je závislý na stavbě tratě. Skládá se z odporu sklonu, jenž působí při jízdě drážního vozidla do stoupání, a dále z odporu oblouku. Při průjezdu vlaku obloukem působí na vlak odstředivá síla, která má vliv na jízdu vlaku. Proto se oblouky projektují s určitým sklonem tak, aby byl zajištěn hladký průjezd vozidla obloukem. [2, 5]

Odpor sklonu:

$$o_{sklonu} = \frac{s}{10^3} \quad (4.5)$$

Kde:	$O_{sklonu}$	součinitel odporu sklonu [-]
	$s$	sklon tratě [‰]

Odpor oblouku:

$$o_{oblouku} = \frac{400}{R-20} \quad (4.6)$$

Kde:	$O_{oblouku}$	součinitel odporu oblouku [-]
	$R$	průměr oblouku [m]

Odpor tratě:

$$O_{tratě} = G_v * (o_{sklonu} + o_{oblouku}) \quad (4.7)$$

Kde:	$O_{tratě}$	odpor tratě [N]
	$O_{oblouku}$	součinitel odporu oblouku [-]

$O_{sklonu}$  součinitel odporu sklonu [-]

$G_v$  tíha vozidla [N]

#### - Odpor zrychlení

Síly odporu působí při změně rychlosti vozidla. Skládá se odporu zrychlení posuvných hmot a odporu zrychlení rotačních hmot. [2]

$$O_z = G_v * \frac{a}{g} * (1 + \rho) \quad (4.8)$$

Kde:  $O_z$  odpor zrychlení [-]

$a$  zrychlení vozidla [ $m/s^2$ ]

$g$  tíhové zrychlení [ $m/s^2$ ]

$G_v$  tíha vozidla [N]

$\rho$  součinitel rotujících hmot [-]

#### - Stanovení trakčního výkonu

Výpočet tažné síly, která je stanovena součtem všech odporů působících na vozidlo během jízdy:

$$F_0 = O_{vozidlový} + O_{tratě} + O_{zrychlení} \quad (4.9) [5]$$

Kde:  $F_0$  tažná síla [N]

Trakční výkon vozidla se stanovuje podle rovnice:

$$P = F_0 * \frac{V}{3,6} \quad (4.10) [2]$$

Kde:  $P$  výkon vozidla [kW]

$F_0$  tažná síla [N]

$V$  rychlost vozidla [km/h]

Stanovení potřebné adhezní síly

$$F_a = \mu_a * G_a * \varepsilon \quad (4.11) [2]$$

Součinitel adheze podle Kothera:



$$\mu_a = \left( \frac{9000}{V+42} + 116 \right) * 10^{-3} \quad (4.12) [21]$$

Kde:	$F_a$	adhezní síla [N]
	$\mu_a$	součinitel adheze [-]
	$\varepsilon$	součinitel využití adheze [-]
	$G_a$	adhezní tíha vozidla [N]
	$V$	rychlost vozidla [km/h]

- Výpočtová část

Výpočet trakční charakteristiky T3 je stanoven při maximálním zatížení vozidla a to při celkové hmotnosti 32 tun. Vozidlo je navrženo pro toto zatížení. Vycházím ze zvolené hmotnosti jedné palety, kterou jsem stanovil na 650 kg. Kapacitně vychází do některých plošně nejvyužitelnějších variant vozidla maximálně 24 europalet. Hmotnost nákladu bude 15 tun. Přestavbou bude také zvýšena hmotnost celého vozu.

Zatížení na nápravu je tedy 8 tun, což je v normě.

Stanovení tíhy jednoho vozidla:

Hmotnost vozidla  $m_v = 32 \text{ [t]} = 32\,000 \text{ [kg]}$

$$G_v = m_v * 9,81 = 32000 * 9,81 = 313\,920 \text{ [N]}$$

Hmotnost soupravy vozidel  $m_v = 32 + 32 = 64 \text{ [t]} = 64\,000 \text{ [kg]}$

$$G_v = m_v * 9,81 = 64000 * 9,81 = 608\,220 \text{ [N]}$$

#### - Vozidlový odpor

Zatížení na jedno dvojkolí:

$$A_0 = \frac{32}{4} = 8 \text{ [t]}$$

Rychlost vozidla volím  $V = 40 \text{ [km/h]}$

Čelní plochu vozidla je stanovena  $S_x = 6,885 \text{ [m}^2\text{]}$

Tíha jednoho vozidla bude  $G_v = 313\,920 \text{ [N]}$

Motorové vozidlo se stanovištěm pro řidiče, při spřažení motorového vozidla bez stanoviště pro řidiče:

Výpočet podle (4.3) a (4.4):

$$\begin{aligned} o_{vz} &= 3,65 * \frac{14,5}{A_0 * n_p} + 0,045 * V + \frac{44 * S_x * V^2}{A_0 * n_p} * 10^{-4} \\ &= 3,65 * \frac{14,5}{8 * 4} + 0,045 * 40 + \frac{44 * 6,885 * 40^2}{8 * 4} * 10^{-4} \\ &= 0,00754 [-] \end{aligned}$$

Pro jedno vozidlo:

$$O_{vz} = G_v * o_{vz} = 313920 * 0,00741 = 2\,328 [N]$$

Motorové vozidlo se stanovištěm pro řidiče při spřažení s vlečným vozidlem, bez vlastního zdroje pohybu:

Výpočet podle (4.3) a (4.4):

$$\begin{aligned} o_{vz} &= 2 * (3,65 * \frac{14,5}{A_0 * n_p} + 0,045 * V + \frac{44 * S_x * V^2}{A_0 * n_p} * 10^{-4}) \\ &= 3,65 * \frac{14,5}{8 * 4} + 0,045 * 40 + \frac{44 * 6,885 * 40^2}{8 * 4} * 10^{-4} = 0,0148 [-] \end{aligned}$$

Pro oba vozy:

$$O_{vz} = G_v * o_{vz} = 608220 * 0,0148 = 9\,023 [N]$$

#### - **Odpor tratě**

Tyto hodnoty byly stanoveny v diplomové práci, na niž navazují. Výpočet proveden podle rovnice (4.5).

Nejvyšší sklon na dané trati byl stanoven na  $s = 15 [‰]$

$$o_{sklonu} = \frac{s}{10^3} = \frac{15}{10^3} = 0,015 [-]$$

Průměr oblouku byl stanoven  $R = 150$  m, výpočet podle (4.6).

$$o_{oblouku} = \frac{400}{R - 20} = \frac{400}{150 - 20} = 0,0031 [-]$$

Liší se s ohledem na vybraný spřažený typ vozu.

Spřažený motorový vůz, kdy pro jeden vůz platí (4.7):

$$O_{tratě} = G_v * (o_{sklonu} + o_{oblouku}) = 313920 * (0,015 + 0,0031) = 6\,930 \text{ [N]}$$

Spřažený vlečný vůz:

$$O_{tratě} = G_v * (o_{sklonu} + o_{oblouku}) = 608220 * (0,015 + 0,0031) = 13\,427 \text{ [N]}$$

- **Odpor zrychlení**

Zrychlení vozidla volím  $a = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Součinitel rotujících hmot volím  $\rho = 0,2 \text{ [-]}$

Tíha vozidla  $G_v = 312\,920 \text{ [N]}$

Výpočet pro jedno vozidlo dle (4.8):

$$O_z = G_v * \frac{a}{g} * (1 + \rho) = 313920 * \frac{0,4}{9,81} * (1 + 0,2) = 15\,360 \text{ [N]}$$

Tíha vozidla  $G_v = 608\,220 \text{ [N]}$

Výpočet pro soupravu s vlečným vozidlem:

$$O_z = G_v * \frac{a}{g} * (1 + \rho) = 608220 * \frac{0,4}{9,81} * (1 + 0,2) = 29\,760 \text{ [N]}$$

- **Výpočet tažné síly**

Je to síla, která je potřebná k překonání všech odporů, které budou na vozidlo působit na trati. Síla pro jedno vozidlo podle (4.9):

$$F_0 = O_{vozidlový} + O_{tratě} + O_{zrychlení} = 2328 + 6930 + 15360 = 24\,618 \text{ [N]}$$

Pro spřažená vozidla podle (4.9):

$$F_0 = O_{vozidlový} + O_{tratě} + O_{zrychlení} = 9314 + 13860 + 30720 = 53\,895 \text{ [N]}$$

- **Trakční výkon vozidla**

Je to výkon potřebný k uvedení vozidla do pohybu. Stanovení pro slabší trakci, určenou pro obě vozidla hnací podle (4.10):

$$P_{celkový} = F_0 * \frac{V}{3,6} = 24618 * \frac{40}{3,6} = 273\,544 \text{ [W]}$$

Stanovení pro silnější trakci, určenou pro hnací a vlečný vůz podle (4.10):

$$P_{celkový} = F_0 * \frac{V}{3,6} = 53895 * \frac{40}{3,6} = 598\,835 \text{ [W]}$$

Výkon jednoho elektromotoru pro slabší trakci, v soupravě s hnacími vozy:

$$P_{motoru} = \frac{P_{celkový}}{4} = \frac{273544}{4} = 68\,386 \text{ [W]} = \mathbf{68,386 \text{ [kW]} \approx 68 \text{ [kW]}}$$

Výkon jednoho elektromotoru pro silnější trakci, pro soupravu s vlečným vozem:

$$P_{motoru} = \frac{P_{celkový}}{4} = \frac{598835}{4} = 149\,708 \text{ [W]} = \mathbf{149,708 \text{ [kW]} \approx 150 \text{ [kW]}}$$

Pro tyto potřeby trakčního výkonu navrhuji trakční motory pro tramvaje značky ŠKODA Transportation a.s., které mají rozpětí výkonu 46 až 145 kW. Toto rozpětí výkonu by mělo být pro naše potřeby dostačující.

#### - **Adhezní síla**

Schopnost trakčního vozidla přenášet tažnou sílu mezi koly vozidla a jízdni dráhou. Díky této schopnosti je možné použití dopravních prostředků. Nejen tažná síla je důležitá, ale také brzdná síla, která umožňuje zpomalení až zastavení vozu. V železniční dopravě je tato síla obzvláště důležitá, kvůli velmi nízkému součiniteli tření mezi kolem a jízdni dráhou. [23] Adhezní tíha vozidla  $G_a = 313\,920 \text{ [N]}$

Součinitel využití adheze volím  $\varepsilon = 0,93 \text{ [-]}$

Výpočet podle (4.11):

$$F_a = \mu_a * G_a * \varepsilon = 0,226 * 313920 * 0,93 = \mathbf{65\,908 \text{ [N]}}$$

Součinitel využití adheze podle Kothera podle rovnice (4.12):

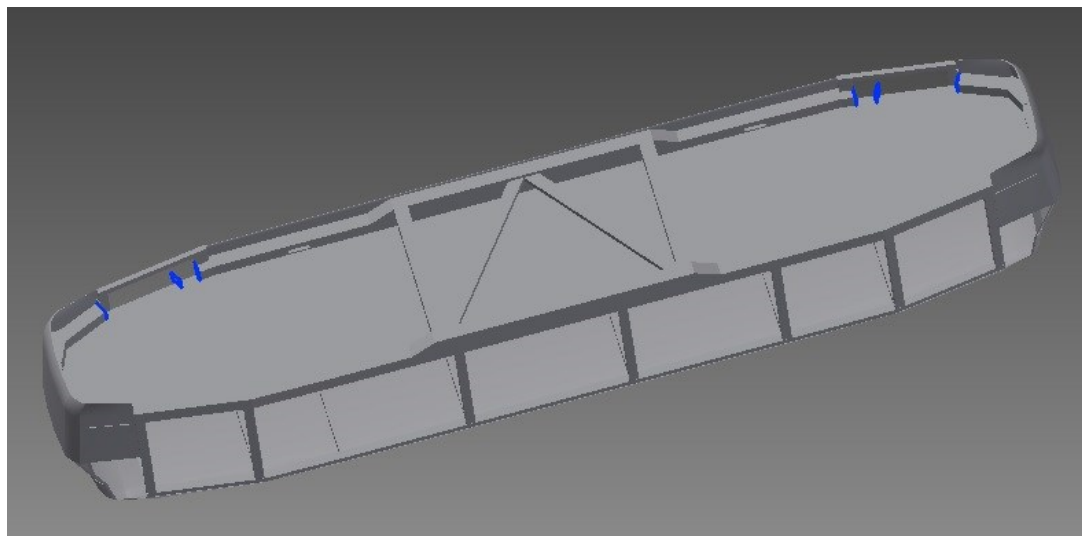
$$\mu_a = \left( \frac{9000}{V + 42} + 116 \right) * 10^{-3} = \left( \frac{9000}{40 + 42} + 116 \right) * 10^{-3} = 0,226 \text{ [-]}$$

Adhezní síla je větší než tažná síla v obou případech výpočtu. Lze tedy tvrdit, že vozidlo je schopno u obou případů přenést danou tažnou sílu přes kola na jízdni dráhu.

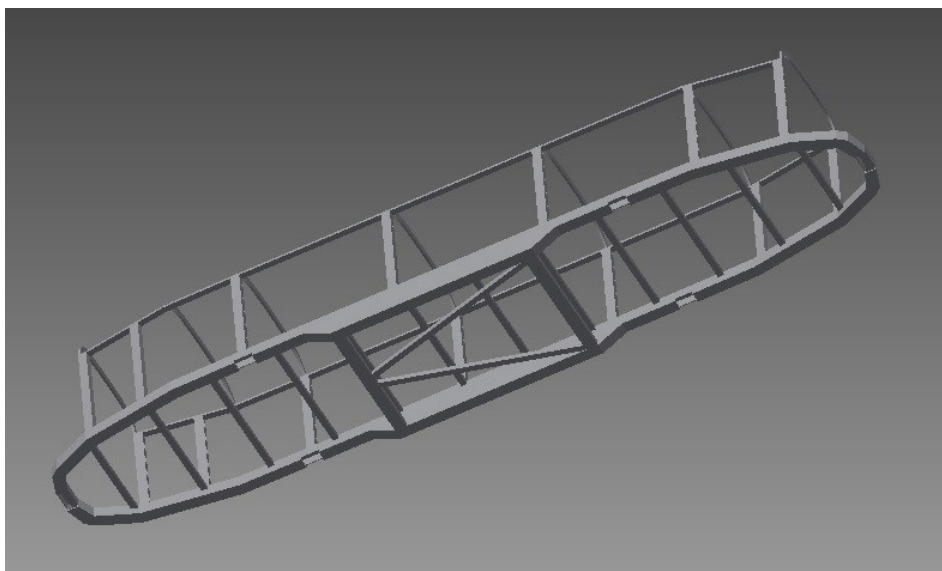
## 4.3 Návrh přestavby

Aby byla zcela využita plocha pro nakládku, bude muset dojít k několika úpravám na konstrukci vozidla tak, aby se zvýšila tuhost. Kvůli zvýšení nosnosti vozidla z 11,5 tuny na 15 tun, aby byla využita kapacita vozidla. Vlivem úprav se zvýší hmotnost vozu. Hmotnost jedné palety je stanovena v rozmezí 500 až 800 kilogramů. Pro výpočty jsem počítal s hmotností 650 kg na jednu paletu. Další zásadní úpravou bude odstranění bočnic. Vzhledem k daným úpravám, zůstane podlaha vzdálena od temena kolejnic na 900 milimetrů. V kostře vozidla dojde k změnám v tuhosti celého rámu tak, aby byl schopen vydržet stanovené zatížení.

Změnou projde rám spodku, kvůli celistvosti (obr. 8). Tímto krokem se také rám stane mnohem tužší, takže bude snáze snášet stanovené zatížení. Další velkou změnou bude odstranění středního profilu H, k němuž navazovaly páteřové nosníky. Nahrazení tohoto konstrukčního prvku, bude zajištěno jednotným páteřovým nosníkem, který bude spojovat rám spodku u čel vozidel.

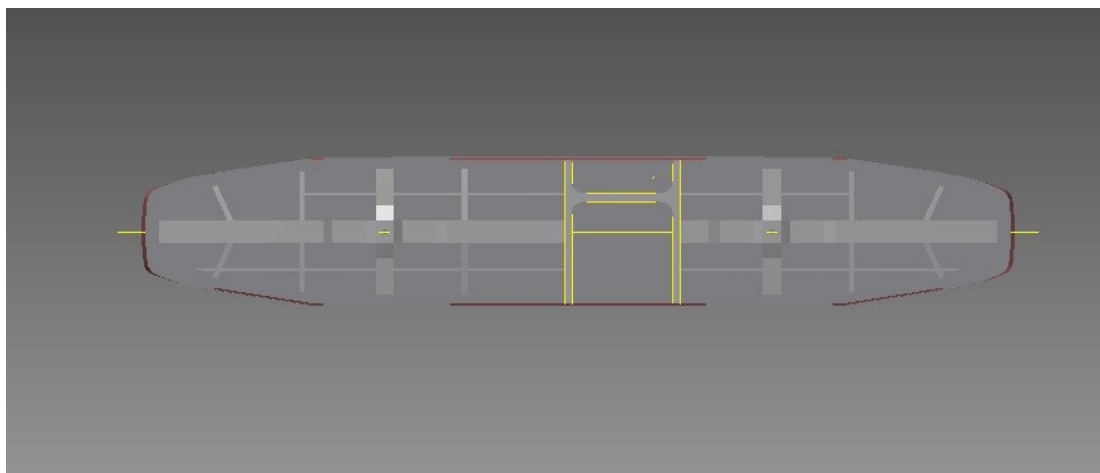


Obrázek 8. Rám spodku s otvory

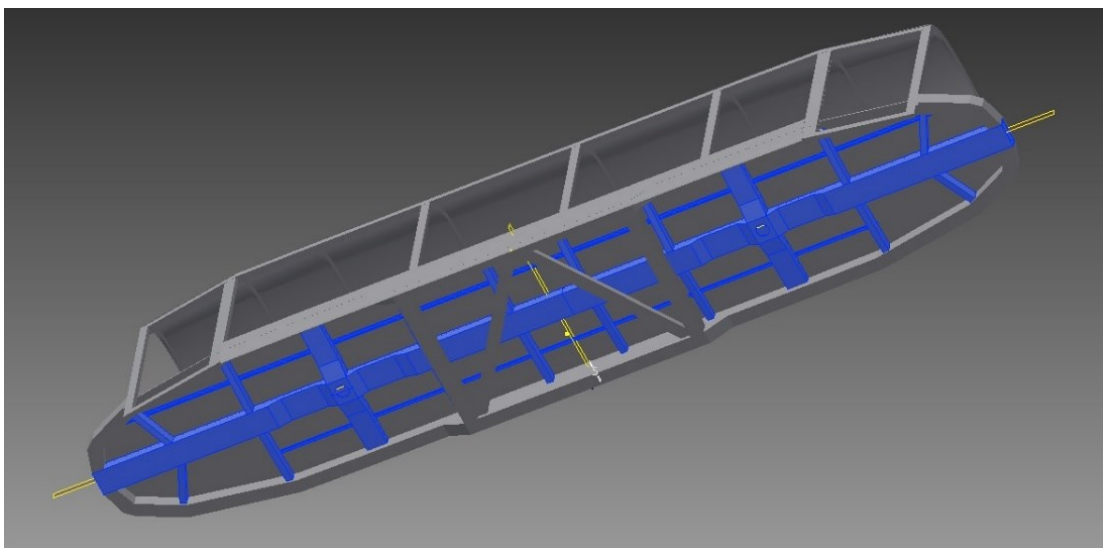


*Obrázek 9. Celistvost rámu spodku*

Další již zmíněnou změnou je odstranění středového svařence H (obr.10) a nahrazení páteřovým nosníkem (obr. 11), který bude od jednoho konce spodku rámu až ke druhém. Tuto úpravu jsem navrhl tak, aby byly využity oba původní páteřové nosníky. Tyto nosníky jsou spojeny obdélníkovým profilem, který zastává úlohu po svařenci tvaru H. Tímto spojením vznik jednotný páteřový nosník, který je rozložen přes celou délku tramvaje. Na tento podélný nosník jsou navařeny příčníky, které ho spojují s rámem spodku.

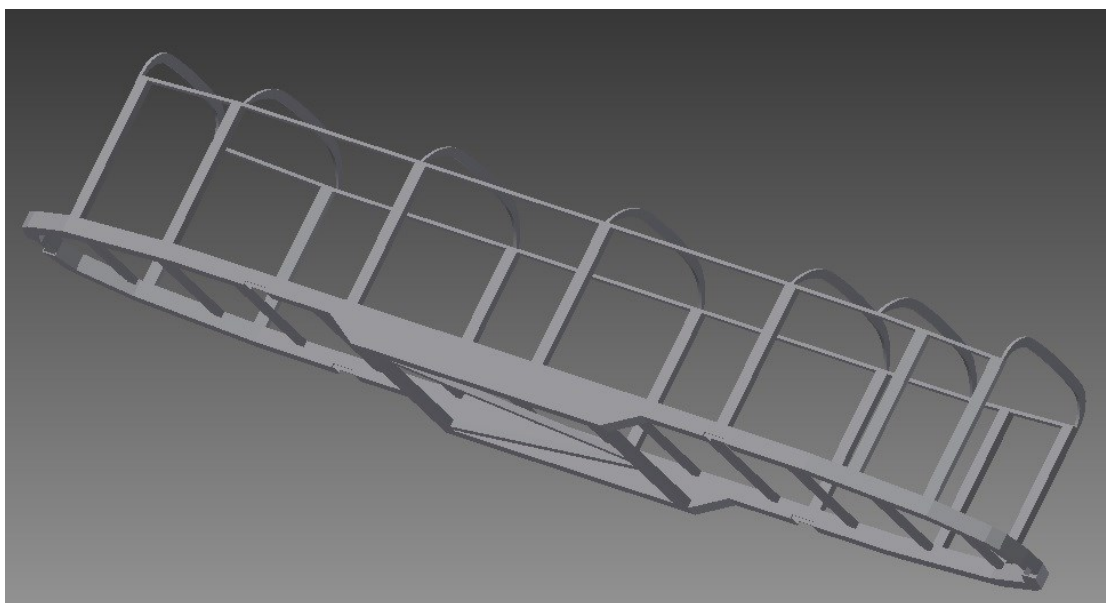


*Obrázek 10. Původní složení podvozku*

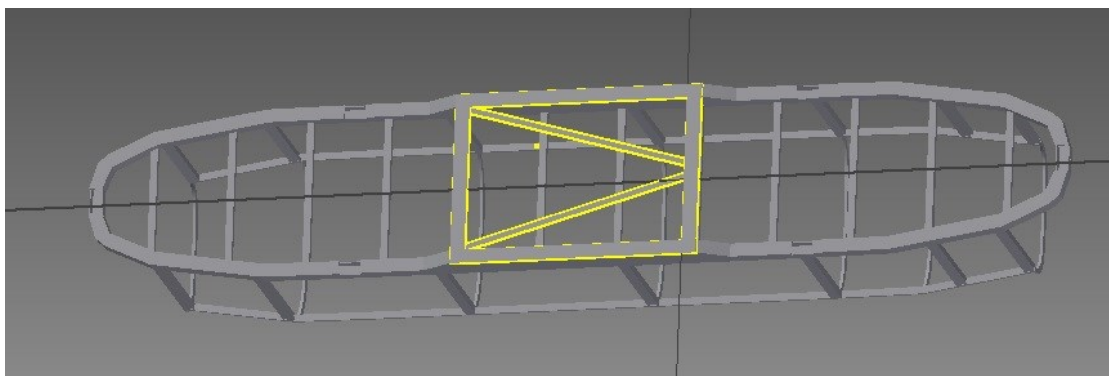


Obrázek 11. *Nahrazení svařence H páteřovým nosníkem*

Další změnou v konstrukci kostry bude posílení rámu spodku dalšími nosníky, které budou mít za úkol zpevnit rám proti ohybovému zatížení. Tyto nosníky budou navařeny na přímých nosnících rámu spodku. V krajních částech budou spojeny dvěma příčnicí (obr. 12). Celý tento prvek bude zpevňovat příhradová konstrukce (obr. 13) navržena tak, aby v ní mohly být ukryty skříně s elektrickým zařízením a další součásti potřebné k jízdě (zrychlovač atd.).

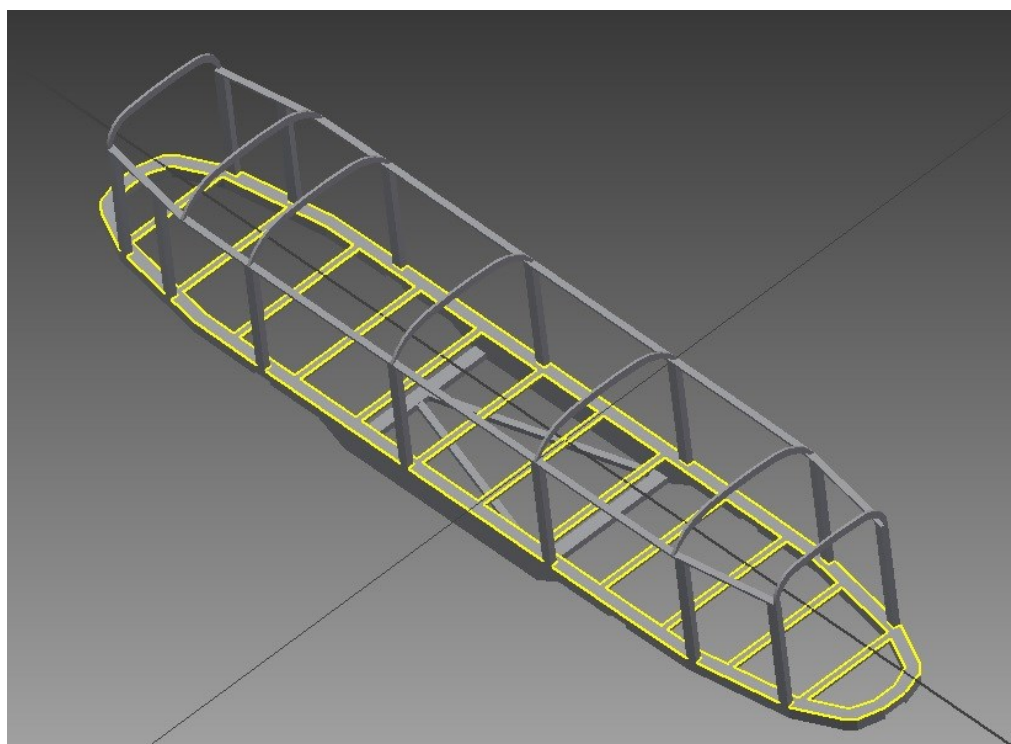


Obrázek 12. *Přídavné nosníky*



Obrázek 13. Příhradová konstrukce

I přes úpravy zůstane vzdálenost mezi podlahou a TK stejná. Protože podlaha bude vystavena velkému zatížení, je nutné ji upravit tak, aby tuto hmotnost vydržela. Podle rozměrů palety bude působit na  $0,96 \text{ m}^2$  asi  $650 \text{ kg}$ , což znamená, že podlaha bude velmi namáhána. Ke zpevnění podlahy je navržen obdélníkový profil, který bude příčně rozmístěn z vnitřních ploch spodku rámu (obr. 14). Tyto profily jsou rozmístěny jeden metr od sebe. Podlahu vozu bude tvořit ocelový plech s prvky se zvýšeným třením, nebo pevná dřevěná podlaha, tak jako u návěsů nákladních automobilů, aby snesla dané zatížení.

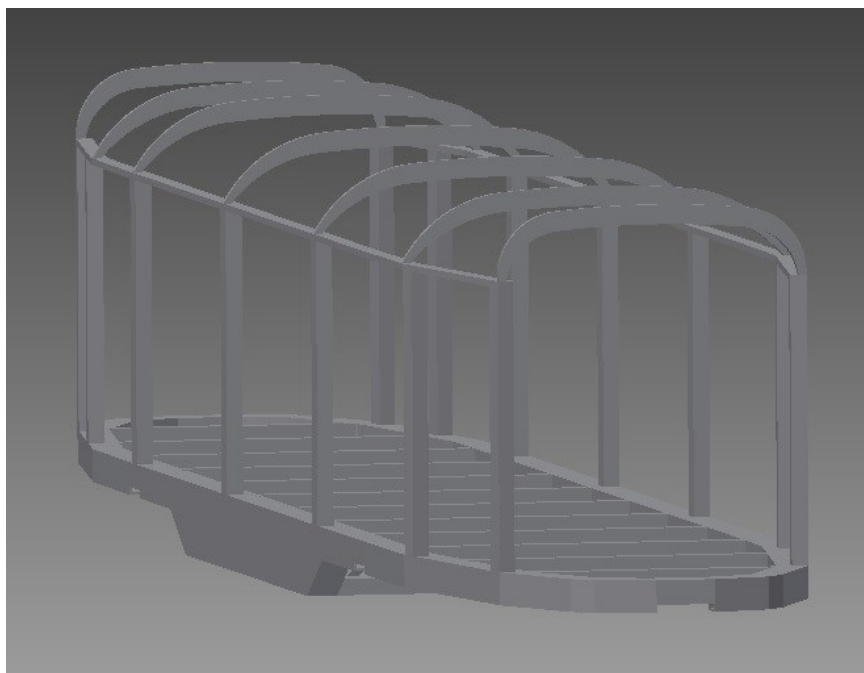


Obrázek 14. Příčnice podlahy

Další úpravou, je upravení bočnic tak, aby byla možná bezproblémová nakládka a vykládka nákladu. Bočnice budou odstraněny od úrovně podlahy až



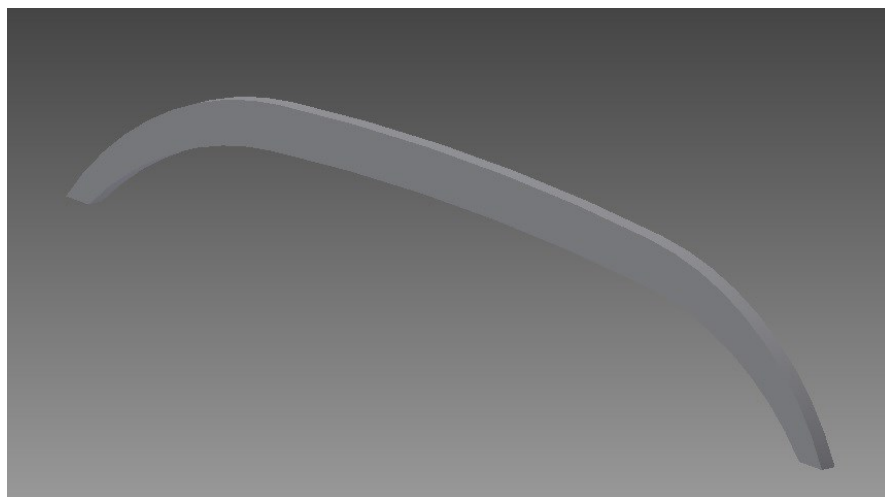
po úroveň střechy, přičemž budou také odstraněny původní sloupky, které držely střechu. Také jsou odstraněny z důvodu špatného rozmístění, neboť jejich vzdálenost je z hlediska kapacitního uspořádání palet velice špatně využitelná. Mezi paletami by bylo až příliš nevyužitého prostoru. Jsou nahrazeny silnějším a delšími sloupky, kvůli dostupnosti nákladu do vozidla. Tyto sloupky mohou být rozmístěny dál od sebe, z důvodu silnějšího profilu, než původní. Jsou také rozmístěny tak, aby byla plně využita plocha, určená pro nakládku.



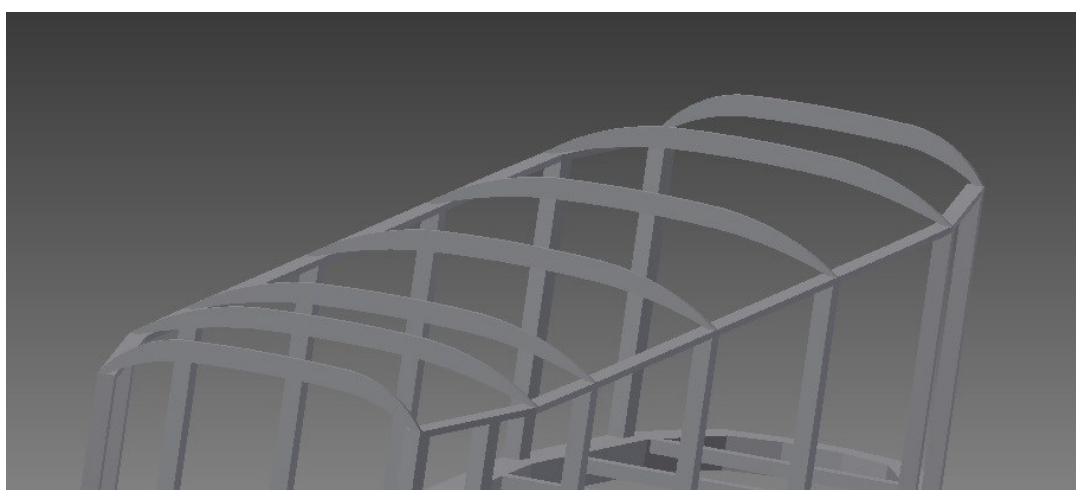
*Obrázek 15. Sloupky kostry rámu*

Úpravou projde též nosná část střechy, neboli původní profil bude nahrazen silnějším. Aby byla zajištěna dostatečná tuhost celé kostry tramvaje.

Pokud jsou zvýšeny sloupky mezi spodkem a střechou, je nutné dbát na maximální průjezdný průřez vozidla. Velikost skříně vozidla se zvýší, ovšem jen tak jak to povolují stanovené normy. Změny budou provedeny také na žebrech, která budou snížena.



Obrázek 16. *Původní tvar žebra*



Obrázek 17. *Nový tvar žeber*

Ostatní prvky rámu zůstanou zachovány, u některých variant i čela vozu. Na rám přijde usadit otočný čep, který se usadí do podvozku. Podvozky zůstanou původní se sekundárním vypružením buď pomocí vinutých pružin, nebo pomocí pryžových silentbloků. Části, které nebyly zmíněny, zůstanou zachovány z původního vozu.

## 5 Zhodnocení a porovnání variant přestavby

Při přestavbě vozu T3 na nákladní tramvaj, bude muset původní vůz projít poměrně radikální rekonstrukcí. Přestavba tramvajového vozidla na nákladní bude vzhledem k výraznému zásahu do původní kostry vozu finančně nákladná na koupi nového materiálu a na práci při přestavbě. Avšak vzhledem k poměrně nízkému provozu se tato investice časem vrátí.

Když se podíváme na možnosti spřažení vozidel, bude výhodnější mít v soupravě dvě vozidla hnací, protože na každé dvojkolí bude působit přibližně stejné zatížení. Tím se hnací síla rovnoměrně rozloží do celé soupravy. Avšak hnací vozidla budou daleko náročnější na údržbu, nežli vozidlo vlečné.

Dalším faktorem při rozhodování je výhodnost oproti jízdní soupravě nákladního automobilu v silniční dopravě.

### 5.1 Porovnání nákladní tramvaje s jízdní soupravou

Jízdní souprava nákladního automobilu je složena z hnacího vozidla, na kterém je zavěšen návěs, nebo z přívěsu, který je připojen za vozidlo. Jelikož se bavíme o přepravě europalet, je častěji využívána návěsová souprava, která je z pohledu kapacity přepravy významnější.

#### **Výhody nákladní silniční dopravy**

Nevětší výhodou je dostupnost. Tato souprava se na rozdíl od kolejové dopravy dostane prakticky kamkoliv, díky husté síti silnic. Také není tato souprava závislá na dopravní cestě tak jako tramvaj. Pokud je to nutné dostane se i do těžko přístupných míst. Dále pružnost a přizpůsobivost. A také velká rychlost přepravy, díky rozlehlé síti rychlostních cest.

#### **Nevýhody nákladní silniční dopravy**

Nevýhodou je naopak menší kapacita přepravy, na rozdíl od železniční přepravy. Také o dost vyšší cena přepravy a nešetrnost k životnímu prostředí. Kvůli spalinám unikajícím při přeměně energie. Je vhodná hlavně pro přepravu hotových výrobků a zboží podléhajícímu rychlé zkáze.

## **Kapacita a porovnání nákladní silniční dopravy**

Velká plocha návěsu umožňuje umístění velkého počtu europalet. Na délku návěsu jsme schopni umístit až 17 europalet a na šířku 2 europalety. Což nám při vynásobení dává maximální kapacitu návěsu 34 europalet. U přestavěného tramvajového vozidla jsme limitováni zaoblením čel vozu, které nám ubírá na kapacitě. Maximální kapacita jednoho vozu je tedy 24 europalet, což dává výhodu návěsu. Jenže podle legislativy je možné mít soupravu dvou spřažených vozidel a to např. vozu se stanovištěm pro řidiče a vlečného vozu. V konečném důsledku to dává dohromady 46 europalet na soupravu dvou vozidel. Takže při převozu nákladní tramvají jsem schopni převážet větší množství nákladu oproti jízdní soupravě za daleko nižší cenu, vlivem nízkých provozních nákladů. Dále jak již zmíněno výše, v dnešní době je trend ekologických provozů. Tedy šetrnost k životnímu prostředí. Ovšem někde se elektrická energie vyrábí, a to v elektrárnách. Kde dochází nejčastěji k přeměně na elektrickou energii spalováním fosilních paliv. Ano při této přeměně se do vzduchu dostává mnoho škodlivých a jedovatých plynů, ovšem dnešní technologie umožňuje radikálně snížit množství těchto plynů ve vzduchu.

## **5.2 Bezpečnost přepravy**

Důležitou součástí při přepravě europalet bude bezpečnost neboli zajištění palet s nákladem tak, aby nedocházelo k jakémukoliv pohybu europalety v příčném a podélném směru. Zajištění jsem navrhl pomocí ok, umístěných z vnější strany tramvaje. Oka budou sloužit pro popruhy s ráčnou, které budou oky provlečeny. Popruhy budou tedy procházet příčně přes vozidlo a přes palety s nákladem. Každá paleta by měla být zajištěna dvěma popruhy, aby byla zajištěna proti pohybu. Další variantou zajištění je síť, která by se navlékla přes paletu a byla by ukotvena k okům. Podobně jako u letecké přepravy. Ovšem pro naši přepravu, by musela být navržena síť, která by příčně pokryla dvě palety s nákladem.

Další prvkem bezpečnosti, nebo spíše krycím prvkem bude plachta, která bude zakrývat otevřené části vozu. Bude zavěšena tak, aby s ní byla co možná nejjednodušší manipulace.

### 5.3 Normativ hmotnosti

Norma uvádí maximální zatížení tramvajového dvojkolí 11 tun na nápravu. Navrhl jsem hmotnost vozidla a nákladu na 32 tun, neboli plné kapacitní využití 24 palet. Vůz typu T3 má čtyři dvojkolí, dvě dvojkolí k jedné nápravě. Což nám dává 8 tun na každé dvojkolí. Lze tedy říci, že stanovené zatížení na nápravu je v normě. Původní vozidlo před rekonstrukcí bylo dimenzováno na maximální zatížení 27,5 tuny. Ideovým návrhem dosáhlo přestavěné vozidlo na tuhosti celého rámu, tudíž by navržené zatížení mělo snést. Celkově se také posune hmotnost zrekonstruovaného tramvajového vozu T3 vlivem daných úprav, avšak odstraněním některých prvků např. bočnic dojde k odlehčení vozu.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout možnost konstrukce nákladní tramvaje, která by vznikla přestavbou tramvaje Tatra T3 a posoudit její využitelnost. V práci jsem se zaměřil na legislativní požadavky, které by tato nákladní tramvaj měla splňovat. Dále jsem se zaměřil na podrobnou studii provozních a technických vlastností. Další část práce je věnována možnostem přestavby, jejímu využití a provozním vlastnostem.

Vycházel jsem z předpokladu že, přestavba bude navržena tak, aby bylo možné pohodlně nakládat a vykládat náklad uložený na přepravní jednotce. Jako vhodnou přepravní jednotku jsem navrhl europaletu, kvůli její univerzálnosti a možnosti přepravovat široký sortiment zboží.

Zjistil jsem, že v bývalých zemích Sovětského svazu jsou tyto přestavby na nákladní nebo užitkové tramvaje běžné. A je tak možné se s nimi setkat v provozu, při výkonu práce, pro kterou byly určeny. Z časových důvodů jsem nemohl věnovat více času podrobnému studiu těchto již vytvořených vozů, musel jsem se spokojit s poněkud komplikovanými webovými stránkami a obrázky v azbuce. Těmito materiály jsem se nechal inspirovat ke konečné podobě nákladní tramvaje.

Hlavním cílem bylo navržení přestavby tramvaje T3 na nákladní dopravu, což jsem splnil navržením tří variant a troufám si říci, že by se navržené varianty přestavby uplatnily v provozu. K tomu aby byly provozovány, je třeba stanovení patřičných pevnostních výpočtů, které určí konečné zatížení vozu. Upozorňuji, že mým úkolem v této práci, bylo navrhnout pouze ideové návrhy přestavby, nikoliv stanovení pevnostních výpočtů. Nevylučuji, že se touto otázkou nebudu zabývat v diplomové práci navazujícího studia. Jak již bylo zmíněno výše, navrhl jsem tři varianty přestavby a to vůz se stanovištěm pro řidiče, který povede celou soupravu, vůz bez stanoviště pro řidiče, který bude trakční s možností využití plné kapacity a vůz vlečný. Závěrem lze shrnout, že tyto návrhy variant nákladní tramvaje, by byly uplatnitelné v provozu, hlavně z důvodu nízkých provozních nákladů, velké kapacity, kterou nabízí spřažení dvou vozů, a také rychlosti přepravy. Avšak má to i své nevýhody spojené s výstavbou nových tramvajových tratí, které jsou velice nákladné na výstavbu. Dále zvýšením

hmotnosti vozu, vlivem tužší konstrukce. Další nevýhodu vidím v zapojení tramvají v noci, kdy by se městem šířil nepříjemný hluk z jízdy tramvají a rušil by noční klid. A také samotná rekonstrukce tramvaje není zcela jednoduchá záležitost. Ovšem záleží na dané situaci města, ve kterém by se tato přeprava uplatnila.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. a Ing. Borisi Ceferovi z EKOVA ELECTRIC a.s. za jejich odborné rady a poskytnuté materiály, z nichž jsem čerpal v bakalářské práci. Dále ostatním zaměstnancům EKOVA ELECTRONIC a.s., kteří kladným přístupem přispěli k této práci.



## 7 Seznam použité literatury

### LITERATURA

- [1] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla III.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011. 223 s. ISBN 978-80-261-0028-7.
- [2] HABARDA, D., HERZÁŇ, F., MRKVIČKA, J. *Mechanika dopravy koľajových vozidel.* 1. vyd. Praha: Vysoká škola dopravy a spojov v Žilíně, 1989. 256 s.
- [3] MARA, R., *Tatra T3 1960 – 2000.* Praha: K – Report, 2001. 133 s. ISBN 80 – 903012 – 0 – 7.
- [4] *T3 CS Technické podmínky*
- [5] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T. a KOHOUT, M. *Mechanika dopravy: studijní opora.* Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, dislokované pracoviště Česká Třebová, 2013. 77 s. ISBN 978-80-7395-739-1.
- [6] HELLER, P., a DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla II.* Vyd. 1. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. 391 s. ISBN 978-80-7043-641-7.
- [7] *T3 Tramvaj elektrická výzbroj TR 37.* 215 s.
- [8] ŠIROKÝ, J., *Mechanika v dopravě I – kolejová vozidla,* Ostrava: vydavatelství VŠB-TUO. 2004.

### ZÁKONY A NORMY

- [9] Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů.
- [10] ČSN 28 1300, Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky.
- [11] ČSN 28 0318, Průjezdne průřezy tramvajových tratí.
- [12] ČSN 28 0337, Obrisy pro tramvajová vozidla.
- [13] ČSN 73 6412, Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí.
- [14] ČSN 33 3516, Předpisy pro trakční vedení tramvajových a trolejbusových drah.

- [15] ČSN EN 50206-2 ed. 2, Drážní zařízení – Kolejová vozidla – Pantografové sběrače: Vlastnosti a zkoušky – Část 2: Pantografové sběrače proudu vozidel metra a tramvají.

## INTERNETOVÉ STRÁNKY

- [16] Tramvaj T3 [online]. [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Levsk%C3%A9ho%2C\\_Tatra\\_T3\\_p%C5%99i\\_vjezdu%2C\\_detail.jpg/672pxLevsk%C3%A9ho%2C\\_Tatra\\_T3\\_p%C5%99i\\_vjezdu%2C\\_detail.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Levsk%C3%A9ho%2C_Tatra_T3_p%C5%99i_vjezdu%2C_detail.jpg/672pxLevsk%C3%A9ho%2C_Tatra_T3_p%C5%99i_vjezdu%2C_detail.jpg)>
- [17] Tramvaj Vario LF [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <[http://galerie.georgo.org/i/tramvaje/2387\\_1ede4c21b34bbb7be4e1bd1ebe2ffae5.jpg](http://galerie.georgo.org/i/tramvaje/2387_1ede4c21b34bbb7be4e1bd1ebe2ffae5.jpg)>
- [18] Výkres tramvaje T3 [online]. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <<http://www.skd.cz/tramvaje/gifs/VT6A2.gif>>
- [19] Tramvaje: T3 [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <[http://www.powerwiki.cz/attach/XD14EPT/02\\_tram\\_t3.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/XD14EPT/02_tram_t3.pdf)>
- [20] Pražské tramvaje [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <<http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocclanku=2006040805>>
- [21] Trakční motory ŠKODA [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <<http://www.skoda.cz/cs/produkty/trakcni-motory/trakcni-motory-pro-tramvaje/>>
- [22] Součinitel adheze [online]. [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <<http://homen.vsb.cz/~s1i95/>>
- [23] T3 трамваи [online]. [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <[http://gortransport.kharkov.ua/ps\\_models/49/](http://gortransport.kharkov.ua/ps_models/49/)>
- [24] Adheze [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Adhezn%C3%AD\\_s%C3%ADla](http://cs.wikipedia.org/wiki/Adhezn%C3%AD_s%C3%ADla)>
- [25] Trakční motory [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <<http://www.skoda.cz/cs/produkty/trakcni-motory/trakcni-motory-pro-tramvaje/>>

- [26] Грузовой трамвай [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9\\_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B2%D0%B0%D0%B9](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B2%D0%B0%D0%B9)>
- [27] ТРАМВАИ КРАСНОДАРА [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <<http://www.kubtransport.info/krasnodar/trams2.html>>
- [28] Nákladní tramvaj [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kladn%C3%AD\\_tramvaj](http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kladn%C3%AD_tramvaj)>

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1. Průjezdny průřez jednokolejné trati. [11]

Obrázek 2. Průjezdny průřez dvojkolejné trati. [11]

Obrázek 3. Technické parametry tramvaje T3. [15]

Obrázek 4. Technické parametry tramvaje Vario LF. [16]

Obrázek 5. Podvozek ČKD.

Obrázek 6. Trakční motor tramvaje T3.

Obrázek 7. Využití kapacity vlečného vozu.

Obrázek 8. Rám spodku s otvory.

Obrázek 9. Celistvost rámu spodku.

Obrázek 10. Původní složení podvozku.

Obrázek 11. Nahrazení svařence H páteřovým nosníkem.

Obrázek 12. Přídavné nosníky.

Obrázek 13. Příhradová konstrukce.

Obrázek 14. Příčnický podlahy.

Obrázek 15. Sloupky kostry rámu.

Obrázek 16. Původní tvar žebra.

Obrázek 17. Nový tvar žeber.

## 9 Seznam tabulek a příloh

### **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Technické specifikace trakčního motoru.

Tabulka 2. Specifikace varianty: Motorový vůz se stanovištěm pro řidiče.

Tabulka 3. Specifikace varianty: Motorový vůz bez stanoviště pro řidiče.

Tabulka 4. Specifikace varianty: Vlečný vůz.

### **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A Nákladní motorový vůz se stanovištěm pro řidiče

Příloha B Nákladní motorový vůz bez stanovištěm pro řidiče

Příloha C Nákladní vlečný vůz